

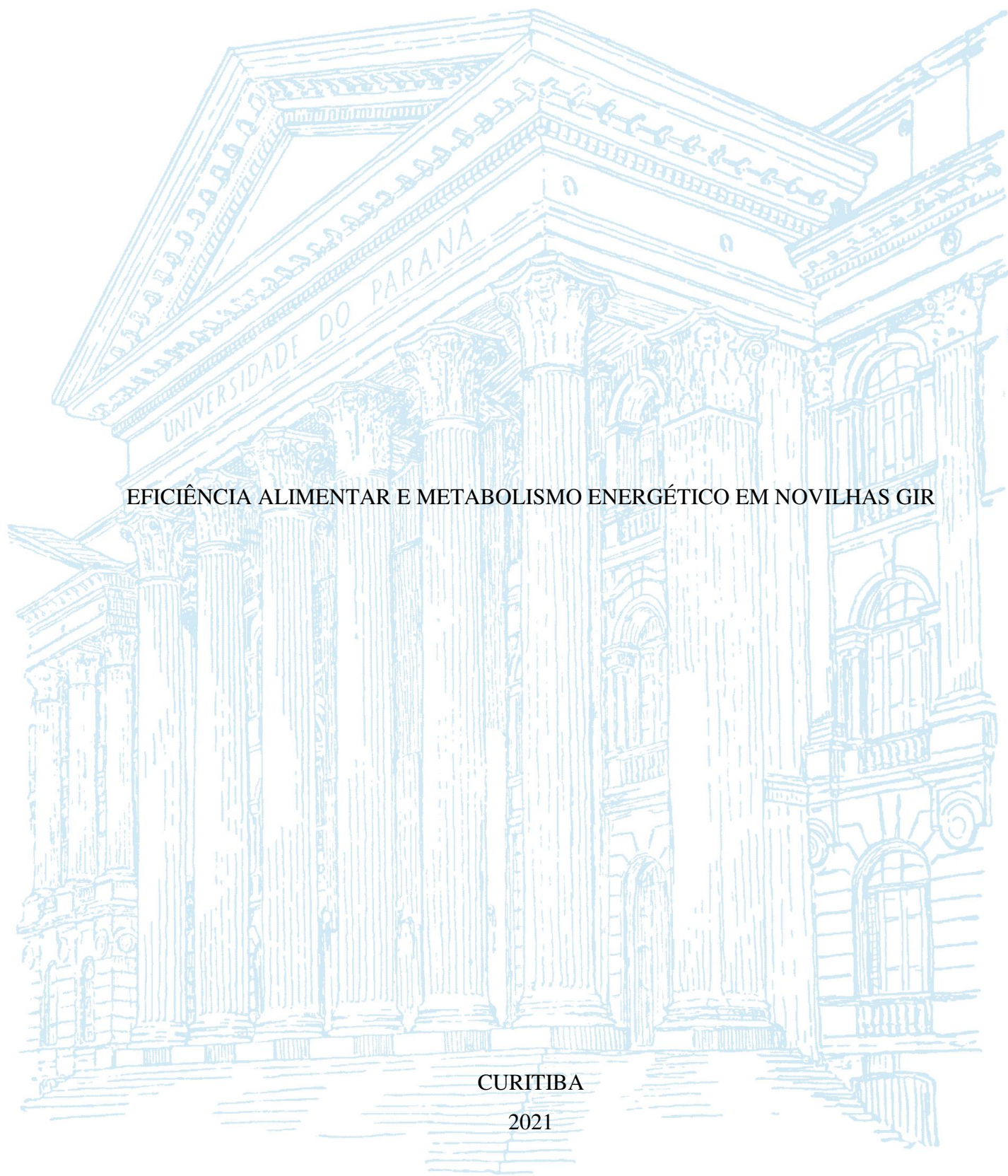
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIELI CABRAL DA SILVA

EFICIÊNCIA ALIMENTAR E METABOLISMO ENERGÉTICO EM NOVILHAS GIR

CURITIBA

2021



DANIELI CABRAL DA SILVA

EFICIÊNCIA ALIMENTAR E METABOLISMO ENERGÉTICO EM NOVILHAS GIR

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração Zootecnia – Nutrição e Produção de Herbívoros e Forragicultura, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Almeida

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Gustavo R. Pereira

CURITIBA

2021

Silva, Danieli Cabral da

Eficiência alimentar e metabolismo energético em novilhas Gir. - Curitiba, 2021.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (Nutrição e Produção de herbívoros e Forragicultura).

Orientação: Rodrigo de Almeida.

Coorientação: Luiz Gustavo R. Pereira

1. Eficiência alimentar. 2. Nutrição animal. 3. Metabolismo energético. I. Almeida, Rodrigo de. II. Pereira, Luiz Gustavo R. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA -
40001016082P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **DANIELI CABRAL DA SILVA** intitulada: **EFICIÊNCIA ALIMENTAR E METABOLISMO ENERGÉTICO EM NOVILHAS GIR**, sob orientação do Prof. Dr. RODRIGO DE ALMEIDA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Fevereiro de 2021.

Assinatura Eletrônica
02/03/2021 11:12:29.0
RODRIGO DE ALMEIDA
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
02/03/2021 08:49:57.0
ANANDA PORTELLA FÉLIX
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
15/06/2021 14:31:57.0
ANDRÉ SOARES DE OLIVEIRA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO)

Assinatura Eletrônica
05/03/2021 08:13:20.0
JOÃO PAULO PACHECO RODRIGUES
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5861 - E-mail: ppgz@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 78930

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 78930

“Quem espera, NUNCA alcança”.

Chico Buarque de Hollanda

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família...
Aos meus pais Francisco e Natalice,
que me ensinaram os valores pessoais,
sem terem acesso, souberam mostrar a importância da educação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por abençoar e iluminar meus passos e estudos;

Aos meus pais Francisco e Natalie, pelo amor, orações, educação, dedicação, confiança, paciência e compreensão dos momentos de ausência pelos estudos;

Aos meus irmãos Silvane, Eli, Silmara e Everton pelo apoio, incentivo e por estarmos unidos em meio a distância e todas dificuldades;

À minha afilhada Maria Valentina “Tina”; às minhas sobrinhas Nathali, e Isabella, ao sobrinho Pedro Francisco, pelo sorriso mais gostoso e sincero, carinho e amor recebido de vocês;

Ao meu orientador, Professor Dr. Rodrigo de Almeida, por ter me orientado em todo o processo de doutorado e por ser a grande referência profissional para mim. Obrigada por todos os ensinamentos.

Ao meu coorientador Dr. Luiz Gustavo, obrigado pela oportunidade, conhecimento e profissionalismo. Por toda contribuição e orientação técnica durante os anos de mestrado e doutorado, no desenvolvimento das atividades do experimento.

Aos pesquisadores do grupo de pesquisa de Nutrição Animal da Embrapa Gado de Leite, peças chave do Projeto, Dra. Mariana Magalhães, Dra. Fernanda Samarini Machado e Dr. Thierry Ribeiro Tomich. Foi incrível aprender sobre eficiência alimentar, partição de energia e respirometria com vocês, durante os dois projetos executados na Embrapa.

Ao Dr. João Paulo Pacheco, pela disponibilidade e auxílio na análise estatística, manifesto meu agradecimento e estima.

Aos estagiários e colegas de profissão Luís Fernando, Frederico Pires, Jemima, Bianca, Fred Cairo, Ana Keren e Samuel pela dedicação ao decorrer do experimento, auxiliando e abraçando as responsabilidades para que os resultados do Projeto fossem executados da melhor maneira possível;

Aos funcionários da fazenda experimental Embrapa Gado de Leite, Complexo Multiusuário e aos funcionários do laboratório de análises, pela contribuição, dedicação e comprometimento de vocês durante o experimento;

Aos meus irmãos raros que a pós-graduação me presenteou, Rebeca e João Paulo, pela convivência, ajuda mútua e o companheirismo sempre presente;

Ào Geraldo e Aparecida, que me acolheram, proporcionando-me grandes momentos familiares, compartilhando dos meus objetivos pessoais;

Ào Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Paraná, professores e funcionários, por todo conhecimento adquirido nesses quatro anos.

Aos grandes profissionais e colegas do Grupo do Leite da UFPR, pelas ajudas que me concederam durante a minha trajetória.

Aos alunos de Medicina Veterinária do Centro Universitário UNIGUAÇU. Aos meus colegas de profissão do colegiado, pela parceria e convivência diária, em especial ao Prof. Dr. Mario Slomp, grande mentor e incentivador dessa trajetória. Ao Prof. Me. João Estevão Sebben pela oportunidade, capacitação e qualificação na docência;

A todos os meus amigos, gostaria de agradecer por fazerem minha caminhada até aqui certamente mais feliz e que me proporcionaram muitos momentos bons e gratificantes.

Á cada um de vocês a minha eterna gratidão.

RESUMO

Objetivou-se com esse estudo: *i*) classificar os animais em grupos de alta e baixa eficiência alimentar (EA) utilizando os índices: consumo alimentar residual (CAR) e consumo e ganho de peso residual (CGR); *ii*) avaliar os efeitos da oferta de alimentos (*ad libitum* e restrito) nos grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) para CAR e CGR, sobre o consumo, digestibilidade de nutrientes, partição energética, produção de calor (PC), emissão de metano entérico (EME), metabolismo de nitrogênio e concentrações de glicose sanguínea em novilhas Gir, e *iii*) calcular as exigências de energia metabolizável para manutenção (EM_m), energia líquida para manutenção (EL_m) e as eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção (K_m), pela metodologia de respirometria calorimétrica nas novilhas Gir. Sendo assim, realizaram-se dois experimentos: no primeiro, foram avaliados os efeitos de interação da oferta de alimentos (*ad libitum* e restrito) com os grupos divergentes de EA (CAR e CGR) no consumo, digestibilidade de nutrientes, metabolismo de nitrogênio, partição energética, EME e concentrações de glicose sanguínea. Trinta e sete novilhas foram classificadas em AE ou BE para CAR (CAR AE $n = 12$ e CAR BE $n = 12$) e CGR (CGR AE $n = 12$ e CGR BE $n = 12$) usando como base de classificação a média $\pm 0,5$ DP. As novilhas AE e BE tiveram valores médio de CAR de $-0,358$ e $0,337$ kg/d ($P < 0,01$), respectivamente. Os valores médios para AE e BE para CGR foram de $0,449$ e $-0,473$ kg/d ($P < 0,01$), respectivamente. As novilhas foram alojadas em *tie-stall* e receberam dieta total (75% silagem de milho e 25% concentrado) na primeira fase de avaliação todos *ad libitum* e na segunda fase os mesmos animais foram avaliados na oferta de alimentação restrita (1,2% do peso vivo /dia). Foram realizadas avaliações de trocas gasosas (consumo de O_2 , produção de CO_2 e CH_4) em câmaras respirométricas de circuito aberto e ensaio de digestibilidade *in vivo* de todos os animais (*ad libitum* e restrito). Amostras de sangue foram coletadas e analisadas quanto às concentrações plasmáticas de glicose. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado e um fatorial com medidas repetidas, com dois tratamentos, repetindo o nível de alimentação dentro do animal. Como resultado do primeiro estudo, os animais de AE CAR apresentaram menor ($P = 0,04$) consumo da MS em relação ao BE CAR (3,03 vs. 3,62 kg/d, respectivamente). Os animais AE CAR apresentaram um consumo também inferior ($P < 0,05$) de MO, PB e EE (kg/d) e tendência ($P > 0,05$) de maior digestibilidade de MS e MO. O consumo da energia bruta (CEB, Mcal/d) foi menor para as novilhas de AE CAR (13,6 vs. 16,2; $P = 0,05$). As novilhas de AE CAR apresentaram menor perdas de energia fecal expresso em (Mcal/d e %CEB; $P = 0,02$; $P = 0,01$, respectivamente) em relação a BE CAR. O grupo AE CAR também apresentou maior relação entre energia digestível e energia bruta (ED:EB, 74,0 vs. 72,2; $P = 0,03$) e uma tendência de maior relação entre energia metabolizável e energia bruta (EM:EB, $P > 0,05$). As trocas respiratórias (VO_2 e VCO_2 , expressos em L/d e L/kg $PC^{0,75}$; $P > 0,05$) e EME foram semelhantes para os grupos de AE e BE. Os níveis de oferta de alimentos, parecer não ser um fator decisório na investigação dos grupos de alta e baixa EA (CAR e CGR). As diferenças na EA para novilhas Gir, podem estar associadas as eficiências uso de energia para crescimento. Ao agrupar os animais baseado no índice CGR, não houve divergência entre os grupos nas avaliações do metabolismo, dado que o GMD foi o mesmo para os animais. Em geral, maior eficiência para CAR durante a fase de recria, parece estar relacionada a diferenças no consumo, digestibilidade e na partição energética da dieta, mostrando a importância do metabolismo energético na definição do índice CAR. O segundo experimento foi conduzido com o objetivo de estimar as exigências nutricionais de energia metabolizável (EM_m) e líquida (EL_m) para manutenção e as eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção (K_m) em novilhas Gir, determinadas pela metodologia de calorimetria respirométrica. Os mesmos animais e dieta utilizados no primeiro experimento, foram

utilizados no segundo experimento. Câmaras respirométricas de circuito aberto foram utilizadas para estimar a produção de calor dos animais (*ad libitum*, restrito e jejum de 72h). A EL_m foi calculada como sendo regressão não linear da produção de calor (PC) em função do consumo de energia metabolizável (CEM). A exigência de energia líquida de manutenção para as novilhas Gir é de 90,3 Kcal/kg PV^{0,75} e a exigência de energia metabolizável de manutenção é de 108,2 Kcal/kg PV^{0,75}. A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção foi de $K_m = 0,83$ para as novilhas Gir. A produção de calor dos animais em jejum correspondeu a EL_m . A metodologia de calorimetria respirométrica mostrou ser eficaz para determinar as exigências nutricionais de energia para manutenção em novilhas Gir em condições tropicais.

Palavras-chave: eficiência alimentar, respirometria, metabolismo energético, novilha.

ABSTRACT

The objectives of this study were: *i*) to classify Gyr heifers into groups of high and low feed efficiency (FE) using the indexes: residual feed intake (RFI) and residual intake and body weight gain (RIG), *ii*) to evaluate in feed levels (*ad libitum* and restricted) in high and low feed efficiency to RFI and RGI, to intake, nutrient digestibility, energy partitioning, heat production (HP), enteric methane emission (EME), nitrogen metabolism and blood glucose level in Gyr heifers, and *iii*) calculated requirements for metabolizable energy (ME_m), liquid energy maintenance (NE_m) and utilization efficiency for maintenance metabolizable energy (K_m), using respirometry chambers method in Gyr heifers. Therefore, two experiments were performed: In the first one, was evaluate the interaction effects of food intake (*ad libitum* and restricted) in divergent FE groups (RFI and RGI), nutrient digestibility, nitrogen metabolism, energy partitioning, EME and glucose concentrations. Thirty-seven heifers were classified in high (HE) and low efficiency (LE) for RFI (RFI HE $n = 12$ and RFI LE $n = 12$) and RIG (RIG HE $n = 12$ and RIG LE $n = 12$) using the mean ± 0.5 SD as the basis of classification. The HE and LE Heifers showed values of RFI of -0.358 and 0.337 kg/d ($P < 0.01$), respectively. The values of the HE and LE for RIG were of 0.449 and -0.473 kg/d ($P < 0.01$), respectively. The heifers were housed in a tie-stall, received total diet (75% corn silage and 25% concentrate) *ad libitum* in the first experiment and in second stage the same animals were evaluated in maintenance level (1.2% BW). Gas exchange evaluations were performed (consumption of O_2 , production of CO_2 and CH_4) in open-circuit respirometry chambers and *in vivo* digestibility test of all animals (*ad libitum* and restricted). Samples of blood were collected and analyzed in the plasmatic concentration of glucose. It was adopted a completely randomized design and factorial with repeated measures, with two treatments, feeding level was repeated inside the animal. The first experiment demonstrated, HE RFI animals showed low DM consumption ($P = 0.04$) in relation to LE RFI (3.03 vs. 3.62 kg/d, respectively). Animals with high efficiency for RFI showed lower ($P < 0.05$) digestibility of OM, CP and EE (kg/d) and high DM and OM digestibility tendency ($P > 0.05$). Gross energy intake (GEI, Mcal/d) was lower for HE RFI heifers (13.6 vs. 16.2; $P = 0.05$). HE RFI heifers showed lower fecal energy losses expressed in (Mcal/d and %GEI; $P = 0.02$; $P = 0.01$, respectively) compared to BE CAR. High efficiency RFI heifers also showed higher relation between digestible energy and gross energy (DE:GE) (74.0 vs. 72.2% of GE; $P = 0.03$) and higher ratio tendency between metabolizable energy and gross energy (ME:GE, $P > 0.05$) than the LE RFI heifers. The respiratory exchanges (VO_2 and VCO_2 , expressed in L/d and L/kg $BW^{0.75}$; $P > 0.05$) were similar for the groups of HE and LE. Food supply levels do not seem to be a decisive factor in the high and low FE groups investigation (RFI and RIG). Differences in Gyr heifers FE may be associated with efficiency to use energy for growth. When grouping the animals based on the RIG index, there was no divergence between the groups in the assessments of metabolism, because average daily gain (ADG) was the same for the animals. In general, greater efficiency for RFI in growing phase seems to be related to differences in consumption, digestibility and dietary energy partition, proving the importance of energy metabolism in defining the RFI index. The second experiment aimed to evaluate the metabolizable energy (ME_m) and net (NE_m) requirements for maintenance and utilization efficiency of maintenance metabolizable energy (K_m) in Gyr heifers, using respirometry chambers method. The same animals and diet used in first experiment were used in the second experiment. Open-circuit respirometry chambers were used to estimate the animals heat production (*ad libitum*, restricted and 72h fasting). The NE_m was calculated as a non-linear regression of heat production (HP) in function of metabolizable energy intake (MEI). The net maintenance energy requirement for Gyr heifers is 90.3 Kcal/kg $BW^{0.75}$ and the maintenance metabolizable energy requirement is 108.2 Kcal/kg $BW^{0.75}$. The use efficiency of maintenance

metabolizable energy was $K_m = 0.83$. The fasted animals heat production corresponded to NE_m . The respirometric calorimetry methodology proved to be effective in determining the maintenance nutritional energy requirements in Gyr heifers under tropical conditions.

Key words: feed efficiency, respirometry, energy metabolism, heifers.

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Relação entre a produção de calor (PC, kcal/kg $PV^{0,75}$ /dia) e o consumo de energia metabolizável (CEM, kcal/kg $PV^{0,75}$ /dia) em novilhas Gir.....	107
--	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E METABOLISMO ENERGÉTICO EM NOVILHAS GIR

Tabela 1. Médias pré-experimentais de eficiência alimentar ¹ para os índices consumo alimentar residual (CAR) e consumo e ganho residual (CGR) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar.....	53
Tabela 2. Composição química dos alimentos usados no período de teste (DTM, silagem de milho e concentrado).....	54
Tabela 3. Consumo ¹ e digestibilidade total com diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.....	61
Tabela 4. Consumo ¹ e digestibilidade total com diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.....	67
Tabela 5. Partição energética com diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.....	72
Tabela 6. Partição energética com diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.....	75
Tabela 7. Partição de nitrogênio (N) com diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.....	72
Tabela 8. Partição de nitrogênio (N) com diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.....	73
Tabela 9. Consumo de oxigênio e emissões de dióxido de carbono e metano entérico com diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.....	75
Tabela 10. Consumo de oxigênio e emissões de dióxido de carbono e metano entérico com diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.....	76
Tabela 11. Concentrações de glicose sanguínea (mmol/L) em diferente oferta alimentar (<i>ad libitum</i> e restrito) em novilhas Gir classificadas como alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.....	77

Tabela 12. Concentrações de glicose sanguínea (mmol/L) em diferente oferta alimentar (*ad libitum* e restrito) em novilhas Gir classificadas como alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR..... 77

CAPÍTULO III – EXIGÊNCIAS DE ENERGIA LÍQUIDA PARA MANTENÇA EM NOVILHAS GIR, DETERMINADAS PELA METODOLOGIA DE CALORIMETRIA RESPIROMÉTRICA

Tabela 1. Composição nutricional da dieta experimental (%MS), com 75% de silagem de milho e 25% de concentrado¹.....100

Tabela 2. Estatística descritiva dos dados (média, desvio padrão, mínimo e máximo), para as variáveis de consumo, partição energética, metabolismo de nitrogênio e emissão de metano entérico das novilhas Gir, em diferente oferta alimentar (*ad libitum*, restrito e jejum).....106

LISTA DE ABREVIATURAS

AE	Alta eficiência
ARC	Agricultural Research Council
AFRC	Agricultural and Food Research Council
BE	Baixa eficiência
BEN	Balanço Energético Negativo
BET	Balanço Energia Total
CA	Conversão Alimentar
CAR	Consumo Alimentar Residual
CEB	Consumo de Energia Bruta
CEM	Consumo de Energia Metabolizável
CEUA	Comissão de Ética no Uso de Animais
CGR	Consumo e Ganho Residual
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
Cm	Centímetros
CMS	Consumo de Matéria Seca
CNF	Carboidratos Não Fibrosos
CR	Câmaras Respirométricas
CV	Coeficiente de Variação
DP	Desvio Padrão
EA	Eficiência Alimentar
EB	Energia Bruta

ECC	Escore de Condição Corporal
ED	Energia Digestível
EL	Energia Líquida
EE	Extrato Etéreo
EF	Energia Fecal
EU	Energia Urinária
EM	Energia Metabolizável
EMB	Energia Metabolismo Basal
EM _m	Energia Metabolizável de Manutenção
EL _m	Energia Líquida de Manutenção
EPM	Erro Padrão da Média
ER	Energia Retida
FDN	Fibra em Detergente Neutro
GEE	Gases do Efeito Estufa
g/d	Gramas por Dia
g/Kg	Gramas por Quilo
GMD	Ganho Médio Diário
GPD	Ganho de Peso Diário
GPR	Ganho de Peso Residual
h	Horas
IC	Incremento Calórico
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
Kg	Quilogramas
Kcal	Quilocalorias
Kcal/PV ^{0,75}	Quilocaloria por Quilogramas de Peso Vivo Metabólico

K _m	Eficiência de Utilização da Energia Metabolizável para Manutenção
L	Litros
MS	Matéria Seca
MO	Matéria Orgânica
Mcal	Megacaloria
Mmol	Milimol
N	Nitrogênio
NDT	Nutrientes Digestíveis Totais
NRC	National Research Council
O ₂	Oxigênio
PB	Proteína Bruta
PC	Produção de Calor
PC _j	Produção de Calor em Jejum
PV ^{0,75}	Peso Vivo Metabólico
PCVZ	Peso de Corpo Vazio
RSE	Erro Padrão Residual
TMR	Total Mixed Ration
R ²	Coeficiente de Determinação
q	Metabolizabilidade da dieta
SAS	Sistema de Análises Estatísticas
°C	Grau Celsius

SUMÁRIO

1 CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS	21
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	21
1.2 HIPÓTESE CIENTÍFICA.....	23
1.3 OBJETIVO GERAL	24
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
2 REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1 EFICIÊNCIA ALIMENTAR	25
2.2 AVALIAÇÃO DE CONSUMO, DIGESTIBILIDADE APARENTE E BALANÇO DE NITROGÊNIO EM PROVAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR	27
2.3 AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS (O ₂ , CO ₂ E CH ₄) EM PROVAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR	30
2.4 PARTIÇÃO DE ENERGIA EM PROVAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR	33
2.5 CONCENTRAÇÃO DE GLICOSE SANGUÍNEA EM PROVAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR	35
2.6 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA.....	36
REFERÊNCIAS	39
3 CAPÍTULO II - RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E METABOLISMO ENERGÉTICO EM NOVILHAS GIR	48
RESUMO	48
ABSTRACT	49
3.1 INTRODUÇÃO	50
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	51
3.2.1 Ensaio de eficiência alimentar.....	51
3.2.2 Ensaio de Metabolismo	53
3.2.2.1 Novilhas, alojamento e manejo	53
3.2.2.2 Consumo e digestibilidade aparente.....	55
3.2.2.3 Balanço de nitrogênio.....	56
3.2.2.4 Partição de energia	57
3.2.2.5 Trocas respiratórias e emissão de metano entérico	58
3.2.2.6 Glicose Sanguínea	58
3.2.2.7 Procedimentos Estatísticos.....	59

3.3 RESULTADOS	59
3.3.1 Consumo e digestibilidade aparente.....	59
3.3.2 Partição de energia	65
3.3.3 Balanço de nitrogênio.....	71
3.3.4 Trocas respiratórias e emissão de metano entérico	74
3.3.5 Glicose sanguínea.....	77
3.4.1 Consumo e digestibilidade aparente.....	78
3.4.2 Partição de energia	80
3.4.3 Balanço de nitrogênio.....	83
3.4.4 Trocas respiratórias e emissão de metano entérico	84
3.4.5 Glicose Sanguínea	86
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
3.5.1 Agradecimentos.....	88
REFERÊNCIAS	89
4 CAPÍTULO III – EXIGÊNCIAS DE ENERGIA LÍQUIDA PARA MANUTENÇÃO EM NOVILHAS GIR, DETERMINADAS PELA METODOLOGIA DE CALORIMETRIA RESPIROMÉTRICA.....	95
4.1. INTRODUÇÃO	97
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	99
4.2.1 Animais, dieta e delineamento experimental	99
4.2.2 Consumo, digestibilidade aparente e balanço de nitrogênio	101
4.2.3 Calorimetria indireta de circuito aberto	103
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
4.3.1 Exigências de energia para manutenção.....	107
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	112
4.4.1 Agradecimentos.....	112
REFERÊNCIAS	114
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	118

1.CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional para o próximo meio século levará a aumento na demanda que ultrapassa 100% da atual produção mundial de leite (Britt et al., 2018). O Brasil é uma das últimas fronteiras de expansão agropecuária do mundo, e possui o maior rebanho bovino comercial, no entanto os índices produtivos nacionais são ainda relativamente baixos, apesar da melhora considerável ocorrida nos últimos anos (Valadares Filho et al., 2016).

A eficiência alimentar (EA) é definida como a fração da energia proveniente da alimentação que o animal transforma em produto, que se tornou característica econômica muito importante nos meios de produção (VandeHaar et al., 2016; Miglior et al., 2017; Brito and Silva, 2020). A demanda consiste em animais produtivos, rentáveis, com baixos requisitos de manutenção, diminuindo os custos de alimentação mas sem reduzir a produtividade (Herd et al., 2004a; Berry e Pryce, 2014).

A identificação da EA em bovinos leiteiros jovens maximiza a lucratividade (Shetty et al., 2017). Como o tamanho corporal é geralmente considerado altamente herdável, selecionar animais para menor tamanho corporal reduziria o gasto total de energia de manutenção (VandeHaar et al., 2016; Seymour et al., 2019). Além disso, ao selecionar animais em crescimento para menor consumo de alimentos, provavelmente obteremos os mesmos efeitos na fase adulta (Freetly et al., 2020).

Pesquisas sobre EA em animais *Bos indicus* e seus mestiços leiteiros foram realizadas no Brasil, revelando que os animais de alta eficiência apresentaram maior digestibilidade dos nutrientes da dieta, consumiram menos O_2 e produziram menos CO_2 e CH_4 entérico, apresentaram menor gasto de energia na produção de calor, melhor metabolismo energético e proteico (Leão et al., 2018; Lage et al., 2019; Cabral da Silva et al., 2020; Lage et al., 2020).

A raça Gir (*Bos indicus*) é importante devido à sua tolerância ao calor e aos parasitas, sua rusticidade, resistência a endo e ectoparasitas, alta fertilidade e adaptabilidade ao ambiente tropical (Pereira et al., 2013; Ruas et al., 2014; Santana et al., 2014). No Brasil, os animais mais adaptados ao ambiente tropical possibilitam a produção de leite com menor custo (Filho et al., 2018; Araujo Carvalho et al., 2019). Assim, estudar a EA de animais zebuínos é essencial para o aprimoramento genético.

O parâmetro mais utilizado em pesquisas de EA é o consumo alimentar residual (CAR) proposto por (Koch et al., 1963), considerado como medida fenotípica independente das características de produção. Portanto, espera-se que animais mais eficientes reduzam o consumo de alimentos sem comprometer a produção. No entanto, Berry e Crowley (2012) apontaram que o uso do CAR em animais em crescimento pode levar à seleção de animais de crescimento lento, e propuseram solução para esse problema, ou seja, utilizar como índice alternativo o consumo e ganho residual (CGR). O CGR pode ajudar a identificar animais com bom desempenho, associado a boa EA sem perder as características hereditárias (Berry e Crowley, 2012).

É notório que a alimentação do rebanho se torna o item mais representativo no custo de produção de leite e as exigências nutricionais têm sido estabelecidas em diferentes países (AFRC, 1993; INRA, 1978; NRC, 2001). No Brasil, já foi publicada a terceira edição da Tabela Brasileira de Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados BR-CORTE, mas com foco em bovinos de corte (Valadares Filho et al., 2016), já para gado de leite, as normas e padrões de alimentação ainda não foram estabelecidas.

As variações entre animais na EA envolvem múltiplos mecanismos (Cantalapiedra-Hijar et al., 2018). Alguns estudos confirmaram que o processo digestório e as bases bioquímicas do metabolismo seriam em parte responsáveis pela divergência dos animais para eficiência (Herd e Arthur, 2009). Essas diferenças nas necessidades energéticas seriam

igualmente aplicáveis às utilizadas para manutenção tanto em animais jovens quanto em adultos. Identificar mecanismos de alta eficiência na conversão de alimento em tecidos que se mantenham ao longo das fases de desenvolvimento, sem comprometer o crescimento e a fertilidade de novilhas, permitirá selecionar animais eficientes precocemente reduzindo os gastos com a recria.

A fim de atingir os objetivos propostos, esta tese foi organizada em 3 capítulos baseando-se na normatização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Paraná.

O Capítulo 1 corresponde a revisão de literatura, com abordagem sobre os mecanismos biológicos que controlam os animais considerados mais eficientes e partição energética. As informações apresentadas nesse capítulo servirão de base para os capítulos subsequentes.

O Capítulo 2 avalia os grupos de AE e BE (CAR e CGR) no metabolismo energético, avaliando diferentes ofertas de alimentação (*ad libitum* e restrito) em relação a digestibilidade aparente, balanço de nitrogênio, partição de energia, emissão de metano entérico (EME) e glicose sanguínea em novilhas Gir.

O Capítulo 3 calcula as exigências de energia metabolizável para manutenção (EM_m), energia líquida para manutenção (EL_m) e as eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção (K_m), pela metodologia de respirometria calorimétrica em novilhas Gir.

1.2 HIPÓTESE CIENTÍFICA

Diante das hipóteses: *i)* As diferenças nos grupos de EA podem estar associadas as diferenças no metabolismo energético (*ad libitum* ou restrito), na produção de calor (PC) e emissão de metano entérico (EME); *ii)* Estimar as exigências nutricionais de energia líquida e metabolizável para manutenção, em novilhas Gir pela metodologia de calorimetria respirométrica.

1.3 OBJETIVO GERAL

Os objetivos com este estudo foram: *i*) classificar os animais em grupos de alta e baixa eficiência alimentar (EA) utilizando os índices: consumo alimentar residual (CAR) e consumo e ganho de peso residual (CGR), e *ii*) avaliar se novilhas Gir divergentes para índices de EA, apresentam diferenças no consumo (*ad libitum* e restrito), digestibilidade total no trato digestório, partição energética, produção de calor (PC), emissão de metano entérico (CH₄), glicose sanguínea, metabolismo de nitrogênio e calcular as exigências de energia para manutenção.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Observar as respostas dos indicadores de eficiência alimentar (CAR e CGR), para entender as respostas metabólicas das novilhas Gir classificadas como AE e BE.

Avaliar os efeitos da oferta de alimentos (*ad libitum* e restrito) no consumo, digestibilidade, partição de energia, balanço de nitrogênio e níveis de glicose sanguínea de novilhas Gir classificadas em AE e BE (CAR e CGR)

Verificar os efeitos da oferta de alimentos e dos grupos de AE e BE (CAR e CGR) nas trocas respiratórias (consumo de O₂ e produção de CO₂ e CH₄) e no gasto energético (produção de calor) de novilhas Gir;

Calcular a exigência de energia metabolizável para manutenção (EM_m), energia líquida para manutenção (EL_m) e eficiências de utilização da energia (K_m) em novilhas Gir.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EFICIÊNCIA ALIMENTAR

A eficiência alimentar (EA) inclui características relacionadas aos animais e seu ambiente, bem como estudos relacionados a determinados indicadores, métricas e parâmetros, que permitem selecionar animais mais eficientes do ponto de vista do metabolismo energético (Lanna e Almeida 2004; Montanholi et al., 2009; Leão et al., 2018a; Lage et al., 2019; Cabral da Silva et al., 2020; Lage et al., 2020).

Dessa forma, a seleção buscará cada vez mais animais que possam ganhar peso, crescer e produzir com o menor consumo de alimento, ou seja, com maior eficiência. Uma vez que não existe definição única de EA, vários métodos podem ser usados para descrever a eficiência com que os animais convertem alimentos em produtos (Seymour et al., 2020). Entre estes métodos, o consumo alimentar residual (CAR) é uma das medidas de EA mais usadas em ambientes de pesquisa (Connor et al., 2019; Lage et al., 2019; Flay et al., 2019; Shonka-Martin et al., 2019; Cabral da Silva et al., 2020; Lage et al., 2020).

O CAR pode ser definido como a diferença entre o consumo observado e o consumo previsto. Animais CAR negativos são mais eficientes durante o teste porque seu consumo é menor do que o esperado (Koch et al., 1963). Ao contrário do CAR, animais com ganho de peso residual (GPR) positivo, são considerados mais eficientes porque apresentam baixo consumo de matéria seca (CMS) e bom desempenho (Berry e Crowley, 2013).

Berry e Crowley (2012) relataram que quando o CAR é usado em animais em crescimento, alguns animais de crescimento lento podem ser selecionados, e propuseram para superar essa limitação usar o consumo e ganho residual (CGR) como índice alternativo a EA. Ao combinar CAR e GPR, o valor positivo para CGR representa o animal mais eficiente. Como resultado, a seleção baseada em CGR tende a priorizar animais com maior GMD e

menor CMS, evitando a seleção de animais com desempenho baixo ou lento como animais eficientes (Grion et al., 2014). Nesse sentido, Lage et al. (2019) ao agrupar bezerras Gir, baseado no índice CGR, encontraram que a divergência parece estar mais associada às medidas corporais, o que pode estar relacionado às diferenças na composição do ganho.

Nas novilhas leiteiras em crescimento, o CAR é calculado igualmente aos feitos para animais de corte, por regressão, incluindo consumo de alimento previsto, peso corporal metabólico e taxa de ganho de peso (Waghorn e Hegarty, 2011; Williams et al., 2011; Lin et al., 2013). A variação na composição do ganho pode influenciar a eficiência de utilização de nutrientes (Herd and Arthur, 2009b). Novilhos selecionados para baixo CAR tem menor quantidade de gordura e maior acúmulo de proteína no corpo, mas essa diferença explica 5% da diferença de consumo entre os animais (Herd et al., 2003b).

Vários estudos foram realizados com o objetivo de avaliar e caracterizar o CAR de animais nas fases de recria e lactação (Waghorn et al., 2012; Macdonald et al., 2014). O CAR de animais jovens após o desmame pode ser usado para inferir o CAR dos animais adultos, devido à alta correlação encontrada de 0,98 (Herd et al., 2003a). Se a diferença de CAR durante a fase de crescimento se mantém nas fases subsequentes, a utilização do animal em crescimento como modelo para seleção de animais com baixo CAR permitirá a seleção precoce de animais mais eficientes, reduzindo assim o custo com a recria de animais menos eficiente.

Vários aspectos da alimentação devem ser considerados ao se tratar de EA, pois dependem da composição da dieta, ingredientes, quantidade ingerida, bem como, a própria mensuração do consumo individual (VandeHaar e Tempelman, 2017). Ao modelar o CAR, outro aspecto a considerar é o grupamento racial, pois há indicações de que as vacas Holandesas e Jersey diferem em alguns processos relacionados à energia, como produção de CH₄ entérico e digestibilidade de nutrientes (Olijhoek et al., 2018). Um aspecto fundamental

da estimativa da EA é o período para medir a eficiência; Seymour et al. (2019) observaram que, independentemente do método utilizado, a EA é dinâmica e se altera diariamente.

Esse projeto faz parte de uma série de estudos que se concentram nos desafios atuais da estimativa da EA para vacas leiteiras. Dessa forma, é necessário conhecer a maior variedade dos parâmetros biológicos que podem refletir e prever o valor genético e a expressão fenotípica dos animais da raça Gir Leiteiro. Uma vez que o Gir possibilita produção de leite que atende a necessidade e perfis de parte dos produtores brasileiros, as pesquisas que esclareçam a fisiologia, metabolismo e exigências de energia líquida para manutenção para melhor compreender a resposta de produção mais eficiente desses animais no uso dos nutrientes, são necessárias.

2.2 AVALIAÇÃO DE CONSUMO, DIGESTIBILIDADE APARENTE E BALANÇO DE NITROGÊNIO EM PROVAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR

Nos bovinos há variação entre o CMS necessário para manter o peso corporal e assegurar o crescimento (Herd et al., 2004b), pois o CMS do animal em crescimento está intimamente relacionado ao peso corporal, taxa de ganho de peso e composição da dieta. Bovinos *Bos indicus* puros e cruzados utilizam forragens de baixa qualidade mais eficientemente do que bovinos *Bos taurus* (Krehbiel et al., 2000). Além do fator racial as variações em consumo podem estar relacionadas às mudanças nas exigências de manutenção dos animais, pois a medida que o consumo aumenta a quantidade de energia necessária para digerir o alimento também aumenta, em parte devido ao aumento do tamanho dos órgãos digestórios e ao aumento da energia para manutenção dos tecidos. Esse incremento calórico corresponde a aproximadamente 9% da energia metabolizável ingerida (Herd e Arthur, 2009b).

A digestibilidade aparente compreende a capacidade dos nutrientes que compõe o alimento em fornecerem energia para o funcionamento do organismo animal (Silva e Leão, 1979), e representa a quantidade de nutriente consumida por dia e quanto desse não é excretado nas fezes (Kleiber, 1962). O balanço de matéria perdida na passagem pelo trato digestório é o que melhor mensura o aproveitamento do alimento. Por sua vez, nas fezes, além do alimento não digerido, estão representadas também as perdas endógenas do metabolismo animal (Van Soest, 1994).

O CAR é uma medida da variação na EA de indivíduos acima ou abaixo da eficiência de uso de alimentos, devido às diferenças individuais na digestão, metabolismo, atividade e termorregulação (Arthur e Herd, 2008). As diferenças em digestibilidade podem representar 10% da variação fenotípica de CAR (Richardson e Herd, 2004). Parte da diferença se deve às características nutricionais e de digestibilidade do indivíduo, bem como as características da dieta fornecida, grupamento racial, idade e condição sexual (VandeHaar e Tempelman, 2017). A independência do CAR e da produção levou alguns autores a sugerir que o CAR é uma variação inerente ao processo metabólico (Herd e Arthur, 2009b). Existem alguns processos principais associados a alterações de eficiência, como a ingestão de alimentos, digestão de alimentos (e os custos energéticos associados), metabolismo, atividade e termorregulação (Herd et al., 2004b).

Animais com baixo CAR parecem gastar menos tempo se alimentando por dia (Richardson and Herd, 2004) e podem estabelecer ciclos regulares de ingestão de alimentos mais rapidamente (Dobos and Herd, 2008). Richardson et al. (1996) mostraram que a capacidade de touros jovens e novilhas com alto e baixo CAR diferiram em aproximadamente 1% na sua habilidade de digerir os alimentos, o que explicava a diferença de 14% no consumo entre os dois grupos. Novilhos selecionados para baixo CAR tem menos gordura e maior acúmulo de proteína no corpo, mas essa diferença explica somente 5% da diferença de

consumo entre animais (Herd et al., 2004b). No entanto Cabral da Silva et al. (2020) não encontraram diferenças na digestibilidade dos nutrientes entre os grupos de novilhas Holandês x Gir de AE e BE para CAR, mas o grupo de alta eficiência para eficiência de conversão alimentar (ECA) apresentou maior digestibilidade dos carboidratos não fibrosos (CNF) e maior balanço energético positivo em relação aos de BE.

A composição da dieta influencia na densidade energética, as perdas nas fezes, CH₄, urina, e calor, que interferem no consumo voluntário, produção de leite e mudança de PC^{0,75}, o que pode alterar a EA (VandeHaar et al., 2016). O aumento do consumo de alimento pode reduzir a digestibilidade da dieta, devido à redução no tempo de retenção da digesta no rúmen (Kenny et al., 2018a). No entanto, estudo comparando a digestibilidade entre grupos AE e BE para CAR, constataram que 79% dos estudos citados não encontraram diferenças na digestibilidade entre os divergentes grupos para CAR (Kenny et al., 2018b). Estudos têm mostrado que não está claro na literatura se as diferenças na digestibilidade são características inerentes ao CAR ou função da mais lenta taxa de passagem devido ao consumo reduzido.

A avaliação do balanço de nitrogênio em animais pode obter informações a respeito da nutrição proteica dos ruminantes, o que é muito importante para evitar prejuízos produtivos, reprodutivos e ambientais devido ao suprimento excessivo de proteínas ou da inadequada sincronia energia:proteína no rúmen (Silva Pessoa et al., 2009). Em bovinos, a eficiência de utilização do nitrogênio (N; g de N em produto/g de N consumido) é baixa quando comparada a outras espécies (ex. suínos, aves), apresentando excreção excessiva de compostos nitrogenados no ambiente.

No entanto, o entendimento dos mecanismos que controlam o metabolismo de N, como a eficiência de captura do N reciclado no rúmen e o metabolismo de aminoácidos (AA), pode ser importante para o desenvolvimento de práticas de manejo que possam melhorar a eficiência de utilização do N (Batista et al., 2014). Cabral da Silva et al. (2020) estudaram

novilhas Holandês x Gir de AE para ECA, as quais excretaram 11,4 g/d menos nitrogênio na urina em relação ao grupo de BE.

A composição da dieta também afeta o grau de excreção de nitrogênio no ambiente, pois deve-se considerar a sincronização das taxas de liberação de energia e de nitrogênio no rúmen e de quantidades não limitantes de aminoácidos essenciais na fração de proteína metabolizável da dieta (Cela et al., 2014). O suprimento simultâneo de nitrogênio e energia no rúmen pode maximizar o uso de nitrogênio, aumentar a eficiência da síntese de proteína microbiana para o duodeno, reduzindo assim a excreção de nitrogênio (Kolver et al., 1998; Casper et al., 1999). A excreção excessiva de nitrogênio levará à perda de energia, o que reduzirá o apetite e a produção do animal (González, 2000).

De acordo com Alves et al. (2014), quando não há diferença na digestibilidade do nitrogênio, o consumo é quem influencia o balanço de nitrogênio. Diniz Valadares et al. (1997) apontam que quando a fermentação excede a capacidade de absorção de nitrogênio dos microrganismos ruminais, os animais acumulam amônia e retêm menor quantidade de nitrogênio.

Em sua pesquisa, Rius et al. (2012) com grupos de vacas divergentes de alto e baixo CAR com dietas similares, avaliando o consumo, digestão e retenção de nitrogênio, não encontraram diferenças no consumo ou excreção urinária de nitrogênio. A disponibilidade de nutrientes, e conseqüentemente de energia e nitrogênio disponível para o animal após o processo de digestão irá depender de vários fatores (Lage et al., 2019).

2.3 AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS (O₂, CO₂ E CH₄) EM PROVAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR

O processo de fermentação da matéria vegetal em energia nos ruminantes, traz desvantagens por ser um processo ineficiente e produzir CH₄ entérico, efetivo gás de efeito

estufa (GEE) como subproduto (Rivera et al., 2010). O CH₄ entérico nos sistemas de produção leiteira responde por 30% (dietas de alto concentrado) a 83,5% (dietas com base em pastagens) das emissões totais de GEE (Aguirre-Villegas et al., 2017). A mitigação do CH₄ entérico é objetivo da pesquisa global (Nkrumah et al., 2006; Knapp et al., 2014; Arndt et al., 2015b; Pereira et al., 2015; Islam e Lee, 2019; Ornelas et al., 2019; Harmsen et al., 2020; Zhang et al., 2020).

Como digestibilidade e o metabolismo animal podem explicar apenas dois terços da variação do CAR de bovinos divergentemente selecionados (Richardson e Herd, 2004), foi sugerido que as diferenças na ineficiência energética com a qual os animais perdem energia como CH₄ entérico poderia contribuir para a divergência nos animais.

Os temas relacionados à EA e às emissões de CH₄ vem sendo cada vez mais estudados (Arthur and Herd, 2008b; Pryce et al., 2014; McDonnell et al., 2016; Miglior et al., 2017; Leão et al., 2018b; Lage et al., 2019; Guinguina et al., 2020), pois a produção de CH₄ entérico foi positivamente correlacionada com o CAR (Negussie et al., 2017; Cabral da Silva et al., 2020). O desperdício de energia da alimentação na emissão de CH₄ pode variar entre 2% a 12% do potencial energético dos alimentos consumidos (Johnson e Johnson, 1995), de 2,7 a 9,8% do consumo de energia bruta de vacas leiteiras (Niu et al., 2018) e de 8,7 e 8,5% do CMS para vacas holandesas de primeira e segunda lactação, respectivamente (Olijhoek et al., 2020).

Velazco et al. (2016) constataram que os animais mais eficientes para CAR podem reduzir a produção de CH₄ diária e também a intensidade de emissão (g CH₄/kg GMD). Corroborando com os achados, Cabral da Silva et al. (2020) avaliando novilhas F1 Holandês x Gir, observaram que os grupos de alta eficiência para GPR e eficiência de conversão alimentar (ECA) emitiram menos metano entérico CH₄/GMD (g/kg) que os grupos de baixa eficiência. Animais de baixa eficiência com alto CAR produziram 34% mais CH₄ por kg de

peso corporal metabólico do que novilhos de alta eficiência para CAR (Nkrumah et al., 2007). Da mesma forma, a produção de CH₄ entérico (g/dia) foi 25% menor em novilhos Angus de alta eficiência CAR em comparação com os de baixa eficiência CAR (Hegarty et al., 2007). Nos estudos de Jones et al. (2011) avaliando matrizes Angus e Fitzsimons et al. (2013) com novilhas de corte, os animais de baixo CAR apresentaram menor produção de CH₄/d. Uma explicação para menores emissões é a diminuição do CMS associada ao fenótipo de baixo CAR (Kelly et al., 2010a; b; Lawrence et al., 2011).

Waghorn e Hegarty (2011) não observaram diferenças nas emissões de CH₄ entre vacas leiteiras divergentes para CAR. As emissões de CH₄ e CO₂ g/d de vacas leiteiras com alta e baixa eficiência de conversão alimentar (ECA) foram semelhantes, mas quando expressas em CH₄/CMS g/kg e CO₂/CMS g/kg, as emissões foram menores para vacas eficientes para ECA. Arndt et al. (2015a) estimaram a perda de energia na forma de CH₄ em relação à EB em 5,23% vs. 6,99% das vacas de alta e BE ECA, respectivamente.

Dados obtidos por Yan et al. (2010) em metanálise, incluindo estudos com CAR, evidenciaram que a perda de energia na forma de CH₄ entérico como proporção da energia bruta (EB) ingerida, está negativamente correlacionada com os níveis de produção de leite. Portanto, os autores acreditam que selecionar vacas com elevada produção e alta eficiência energética é uma estratégia eficaz para reduzir o CH₄.

Os animais mais eficientes para CAR contribuem para a redução da pegada de carbono na produção de leite, já que animais de baixo CAR produzem menos dejetos e apresentam menores exigências nutricionais, além de demandarem menos alimentos que dependem de combustíveis fósseis para serem produzidos (Hegarty et al., 2007). Melhorar a EA é uma abordagem sustentável para reduzir a emissão de CH₄ entérico por unidade de produto, e ao mesmo tempo melhorar a rentabilidade da produção de leite (Guinguina et al., 2020).

Em resposta aos desafios atuais, o presente estudo visa investigar o uso de indicadores avançados na indústria pecuária para melhorar o entendimento da EA e reduzir as emissões de CH₄ de vacas leiteiras. Com o auxílio da respirometria calorimétrica, abre-se uma gama de possibilidades no estudo do metabolismo energético dos animais, incluindo a avaliação dos alimentos, produção dos gases e a determinação das exigências nutricionais de energia.

2.4 PARTIÇÃO DE ENERGIA EM PROVAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR

A clássica partição da energia consiste em avaliar a quantidade de energia contida em um alimento ou dieta e quantificar as perdas desta mesma energia nos processos fisiológicos. O ponto de partida de sistemas de alimentação baseados em energia é a energia bruta (EB), que foi definida por Armsby (1912) como o máximo de energia quantificada durante a combustão completa dos alimentos (Meigs, 1925). Essa fração é medida em bomba calorimétrica e uma parte dela, não digerida, é perdida nas fezes (Vandehaar; ST-Pierre, 2006). No campo da nutrição animal, a energia comumente, é denominada como uma fração não física do alimento, resultante da oxidação de nutrientes durante o metabolismo (NRC, 2001) e interpretada como um atributo do alimento, relacionado com o potencial que este tem de realizar trabalho.

A maior variação na EA pode estar relacionada às mudanças na perda de energia (Paddock, 2010). As variações individuais das perdas ocorridas durante diferentes fases do processo digestório e de absorção parecem ser responsáveis por diferenças em EA entre animais (Lage et al., 2019). Uma dieta que atenda plenamente às necessidades nutricionais dos animais pode permitir o uso racional dos alimentos, reduzindo a excreção de nutrientes no ambiente, melhorando o lucro, a competitividade e a sustentabilidade das fazendas leiteiras (Valadares Filho et al., 2016).

A energia contida no alimento ou dieta é definida como energia bruta (EB), que corresponde à energia liberada na forma de calor quando a substância orgânica é completamente oxidada a dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) em ambiente rico em oxigênio (Kleiber, 1962). Uma porção substancial do consumo de energia é perdida pelo animal como energia fecal, geralmente 30% da EB é perdida nas fezes (VandeHaar e St-Pierre, 2006), mas obviamente isto depende da proporção entre alimentos volumosos e concentrados na dieta, bem como sua digestibilidade. A diferença entre EB menos a energia fecal, denomina-se energia digestível (ED). Parte da ED é perdida na urina e nos gases oriundos da fermentação ruminal, principalmente o CH_4 entérico, resultando na energia metabolizável (EM). A produção de CH_4 entérico representa perdas que podem variar de 2% a 12% do potencial energético dos alimentos consumidos, uma vez que o CH_4 produzido não pode ser metabolizado no organismo, sendo a maior parte eliminada na atmosfera por meio do processo de eructação (Johnson e Johnson, 1995).

A partir da EM, as perdas de energia são na forma de produção de calor (PC), proveniente das reações metabólicas associadas ao metabolismo basal, formação de produto, atividade física, termorregulação, excreção de resíduos e resposta imune (NRC, 2001; Chwalibog et al., 2004). Subtraindo a PC da EM temos a energia líquida (EL), que representa a fração da energia disponível para as funções de manutenção, gestação, lactação e ganho de peso.

Em estudos de metabolismo energético, há grande interesse na mensuração da PC com objetivo de obter informações sobre a eficiência metabólica do animal. A PC pode ser estimada usando calorimetria indireta. Em termodinâmica, calorimetria é a parte da ciência física que estuda a energia térmica em transição (calor) (Kleiber, 1975). A denominação indireta indica que a produção de calor gerado pelas reações químicas, diferentemente da calorimetria direta, que consiste em mensurar a transferência de calor produzido por um

organismo para o meio circundante, é calculada a partir de alguns produtos químicos do metabolismo, por exemplo, as trocas gasosas na respiração (equivalentes calóricos do O₂ consumido e do CO₂ produzido) com o meio (Kleiber, 1975).

O custo energético de manutenção, perdido na forma de calor, pode representar até 75% do consumo total de energia (Ferrell e Jenkins, 1984). A variabilidade genética nas exigências energéticas de manutenção em bovinos é moderada a alta ($h^2 = 0,22$ a $0,71$), sugerindo uma oportunidade para seleção dos animais mais eficientes (Bishop et al., 1991). A PC foi 21% menor e a retenção de energia 10% maior para animais de baixo CAR em relação ao alto CAR (Nkrumah et al., 2006). Cabral da Silva et al. (2020) avaliando as novilhas F1 Holandês x Gir de alta eficiência para CAR, constataram que estas apresentaram menor PC (Kcal/d/PC^{0,75}). Outros autores, observaram 9,3% menor PC em animais AE para CAR quando comparados com animais de BE (Basarab et al., 2003). Esforços significativos vem sendo feito na tentativa de desenvolver métodos para estimar a PC em ruminantes e identificar fenótipos relacionados a EA (Bishop et al., 1991), que permitam a seleção de animais que perdem menor quantidade de energia na forma de calor e apresentem menor exigência para manutenção.

A mínima produção de calor obtida com o animal em jejum, mantido em ambiente termoneutro com um mínimo de atividade são descritas como metabolismo basal (Lawrence e Fowler, 1997). O metabolismo basal também é denominado metabolismo em jejum, metabolismo mínimo, metabolismo pós-absortivo ou taxa metabólica basal (Cannas et al., 2010).

2.5 CONCENTRAÇÃO DE GLICOSE SANGUÍNEA EM PROVAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR

Existem alguns fatores que podem estar relacionados ao estado metabólico do animal na fase de recria, como dieta e a composição corporal do animal (Lage et al., 2019). As

mudanças nas características comportamentais dos animais em crescimento, composição corporal e metabólitos circulantes foram responsáveis por 35% da variação no CAR (Kelly et al., 2010a). Para ruminantes, apenas 5% da glicose ingerida é diretamente absorvida (Herdt, 1988). A concentração plasmática de glicose é afetada pelo CMS; quando o CMS diminui, quase não há produção de propionato no rúmen, que é o principal precursor da glicose em ruminantes (Fernandes et al., 2012). Na condição de hipoglicemia, o organismo reduz a produção de insulina, o que sinaliza a necessidade de mobilização das reservas corporais, principalmente tecido adiposo.

Recentemente, Cabral da Silva et al. (2020) avaliando as concentrações de glicose nos grupos de AE e BE das novilhas F1 Holandês x Gir, ressaltaram que o grupo de alta eficiência para CAR apresentou maior concentração de glicose. Da mesma forma, Fernandes (2014) observou que no grupo CAR de baixa eficiência, a glicose sanguínea é menor.

Os autores Nascimento et al. (2015) não encontraram diferença significativa na concentração de glicose no sangue entre os diferentes grupos de CAR. Da mesma forma, Xi et al. (2016) trabalhando com vacas Holandesas em lactação, não encontraram diferença na concentração de glicose entre animais de distinta EA. Vários fatores podem estar relacionados ao estado metabólico do animal, como o estágio de crescimento ou produção, a dieta e a composição corporal do animal (Lage et al., 2019); esses fatores devem ser considerados em estudos futuros para determinar marcadores metabólicos relacionados a EA.

2.6 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA

As exigências nutricionais mudam de acordo com uma série de fatores como alterações do ambiente e raça. Mesmo em casos em que as vacas são semelhantes quanto o tamanho ou a raça, seus requerimentos de energia metabolizável para manutenção podem variar entre 8 a 10% (Van Es, 1961).

Diferentes metodologias podem ser utilizadas para estimar as exigências energéticas para manutenção e produção de vacas leiteiras. A calorimetria permite mensurar a produção de calor de um animal por métodos físicos (calorimetria direta), ou por medições das trocas gasosas com interações com a excreção de nitrogênio urinário (calorimetria indireta), como nos ensaios respirométricos (Dijkstra et al., 2020). Nessas condições, a energia produzida pelo animal é mensurada por meio das trocas gasosas e produção total de calor (Rodrigues; Vieira, 2011). Tabelas de exigências de sistemas como ARC (1980), AFRC (1993) e CSIRO (2007), foram baseados em respirometria calorimétrica.

O abate comparativo é um método frequentemente adotado no Brasil e foi o procedimento utilizado pelo Sistema Californiano de Energia Líquida (CNES), no qual o NRC (1996) tomou como base para desenvolver suas tabelas de exigências (Fontes et al., 2005). A produção de calor é determinada pela diferença entre a energia retida (ER) e o consumo de energia metabolizável (CEM) (Garrett; Meyer; Lofgreen, 1959), o que permite que as exigências de energia sejam determinadas em condições mais proximais da produção real das vacas (Fontes et al., 2005).

Os comitês dos sistemas AFRC (1993) e CSIRO (2007) se basearam em ensaios de metabolismo energético em jejum para recomendar as exigências de energia para vacas leiteiras, enquanto que no NRC (2001) os dados provêm de estudos de balanço energético realizados em câmaras respirométricas em bovinos leiteiros. A EL_m recomendada pelo NRC (2001) é de $86 \text{ Kcal/PC}^{0,75}$ para animais em crescimento e a do AFRC (1993) é de $83,5 \text{ Kcal/PC}^{0,75}$, para machos castrados e fêmeas.

A energia metabolizável para manutenção (EM_m) é definida como a taxa de produção de calor de um animal mantido em um ambiente termoneutro quando a taxa de consumo de energia metabolizável é exatamente o saldo da taxa de perda de calor (Lawrence e Fowler, 1997), logo a produção de calor correspondente a EM_m engloba a PC do animal alimentado,

ou seja, considera o incremento calórico como uma forma de produção de calor. O incremento calórico é referente a regulação da temperatura corporal, atividade voluntária, digestão, absorção e assimilação de nutrientes, fermentação, formação e excreção de resíduos (Cannas et al., 2010).

A energia líquida requerida para manutenção (EL_m) é igual ao metabolismo do animal em jejum, ela não pode ser determinada diretamente por meios experimentais; ela pode ser obtida pela mensuração dos requerimentos de energia do metabolismo basal (EMB), estimada através da produção de calor do animal em jejum (PC_j), sem contabilizar o IC, pois representa a quantidade de EL que deve ser ingerida para manter em equilíbrio energético, ou seja, a exigência de EL_m . Por isso que a EM_m é sempre superior a EL_m , pois o processo de ingerir, digerir e metabolizar o alimento requer energia, que será dissipada pelo animal como calor (Ferreira, 2014).

A eficiência parcial de utilização da EM para manutenção (K_m) é calculada pela razão EL_m/EM_m (Lofgreen e Garrett, 1968). Quando a nutrição é adequada para atender as exigências de manutenção, as variações na EM_m , K_m e PC_j têm menor influência sobre a eficiência de produção. Outras características das novilhas, como por exemplo, características ligadas ao desempenho dos animais, taxa e a composição do ganho de peso podem ser responsáveis pela variação no K_m , e conseqüentemente na eficiência de produção (Marcondes et al., 2009). A partição energética e as exigências de EM_m e EL_m utilizando a respirometria calorimétrica, pode nos ajudar a entender e quantificar as perdas de energia (fezes, urina, CH_4 , PC e IC), em novilhas Gir em condições tropicais.

REFERÊNCIAS

AFRC, A. e F.R.C. (Great B.T.C. on R. to N., and B.R. Cottrill. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants: An Advisory Manual.

Aguirre-Villegas, H.A., T.H. Passos-Fonseca, D.J. Reinemann, and R. Larson. 2017. Grazing intensity affects the environmental impact of dairy systems. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2016-12325.

Alves, E.M., M. dos S. Pedreira, B.S. Moreira, L.D.R. Freire, T.R. Lima, and C.L. dos Santos-Cruz. 2014. Características de carcaça de ovinos alimentados com dietas contendo ureia de liberação lenta em substituição à ureia convencional. *Acta Sci. - Anim. Sci.* doi:10.4025/actascianimsci.v36i3.21379.

De Araujo Carvalho, P.H., A.L. Da Costa Cruz Borges, R. Reis E Silva, H.F. Lage, P.A.D. Vivenza, J.R.M. Ruas, E.J.F. Filho, R.L.A. Palhano, L.C. Gonçalves, I. Borges, E. De Oliveira Simões Saliba, D.G. Jayme, and A.Ú. De Carvalho. 2019. Energy metabolism and partition of lactating Zebu and crossbred Zebu cows in different planes of nutrition. **PLoS One**. doi:10.1371/journal.pone.0202088.

Arndt, C., J.M. Powell, M.J. Aguerre, P.M. Crump, and M.A. Wattiaux. 2015a. Feed conversion efficiency in dairy cows: Repeatability, variation in digestion and metabolism of energy and nitrogen, and ruminal methanogens. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2014-8449.

Arndt, C., J.M. Powell, M.J. Aguerre, and M.A. Wattiaux. 2015b. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. **J. Dairy Sci.** 98:418–430. doi:10.3168/jds.2014-8298.

Arthur, J.P.F., and R.M. Herd. 2008a. Residual feed intake in beef cattle. **Rev. Bras. Zootec.** doi:10.1590/S1516-35982008001300031.

Arthur, J.P.F., and R.M. Herd. 2008b. Residual feed intake in beef cattle. **Rev. Bras. Zootec.** 37:269–279. doi:10.1590/S1516-35982008001300031.

de Assis Lage, C.F., S.G. Coelho, H. do C. Diniz Neto, V.M. Rocha Malacco, J.P. Pacheco Rodrigues, J.P. Sacramento, F.S. Machado, L.G. Ribeiro Pereira, T.R. Tomich, and M.M. Campos. 2019. Relationship between feed efficiency indexes and performance, body measurements, digestibility, energy partitioning, and nitrogen partitioning in pre-weaning dairy heifers. **PLoS One**. doi:10.1371/journal.pone.0223368.

Basarab, J.A., M.A. Price, J.L. Aalhus, E.K. Okine, W.M. Snelling, and K.L. Lyle. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83:189–204. doi:10.4141/A02-065.

Batista, E.O.S., G.G. Macedo, R. V. Sala, M.D.D.V. Ortolan, M.F. Sá Filho, T.A. Del Valle, E.F. Jesus, R.N.V.R. Lopes, F.P. Rennó, and P.S. Baruselli. 2014. Plasma antimüllerian hormone as a predictor of ovarian antral follicular population in *bos indicus* (nelore) and *bos taurus* (holstein) heifers. **Reprod. Domest. Anim.** doi:10.1111/rda.12304.

Berry, D.P., and J.J. Crowley. 2012. Residual intake and body weight gain: A new measure of

efficiency in growing cattle. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas.2011-4245.

Berry, D.P., and J.J. Crowley. 2013. CELL BIOLOGY SYMPOSIUM : Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle 1. **J. Anim. Sci.** 91:1594–1613. doi:10.2527/jas2012-5862.

Berry, D.P., and J.E. Pryce. 2014. Feed Efficiency in Growing and Mature Animals. 10th World Congr. Genet. Appl. to **Livest. Prod.** 0:2009–2011.

Bishop, M.D., M.E. Davis, W.R. Harvey, G.R. Wilson, and B.D. VanStavern. 1991. Divergent selection for postweaning feed conversion in Angus beef cattle: II. Genetic and phenotypic correlations and realized heritability estimate.. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/1991.69114360x.

Brito, A.F., and L.H.P. Silva. 2020. Symposium review: Comparisons of feed and milk nitrogen efficiency and carbon emissions in organic versus conventional dairy production systems. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2019-17232.

Britt, J.H., R.A. Cushman, C.D. Dechow, H. Dobson, P. Humblot, M.F. Hutjens, G.A. Jones, P.S. Ruegg, I.M. Sheldon, and J.S. Stevenson. 2018. Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2017-14025.

Cabral da Silva, D., L.G. Ribeiro Pereira, J.A. Mello Lima, F.S. Machado, A.L. Ferreira, T.R. Tomich, S.G. Coelho, R.M. Maurício, and M.M. Campos. 2020. Grouping crossbred Holstein x Gyr heifers according to different feed efficiency indexes and its effects on energy and nitrogen partitioning, blood metabolic variables and gas exchanges. **PLoS One.** doi:10.1371/journal.pone.0238419.

Cannas, A., A.S. Atzori, I.A.M.A. Teixeira, R.D. Sainz, and J.W. Oltjen. 2010. The energetic cost of maintenance in ruminants: From classical to new concepts and prediction systems. **EAAP Sci. Ser.**

Cantalapiedra-Hijar, G., M. Abo-Ismael, G.E. Carstens, L.L. Guan, R. Hegarty, D.A. Kenny, M. Mcgee, G. Plastow, A. Relling, and I. Ortigues-Marty. 2018. Review: Biological determinants of between-animal variation in feed efficiency of growing beef cattle. **Animal.** doi:10.1017/S1751731118001489.

Casper, D.P., H.A. Maiga, M.J. Brouk, and D.J. Schingoethe. 1999. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75408-1.

Cela, S., Q.M. Ketterings, K. Czymmek, M. Soberon, and C. Rasmussen. 2014. Characterization of nitrogen, phosphorus, and potassium mass balances of dairy farms in New York State. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2014-8467.

Chwalibog, A., A.H. Tauson, and G. Thorbek. 2004. Energy metabolism and substrate oxidation in pigs during feeding, starvation and re-feeding. Page in **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.**

Connor, E.E., J.L. Hutchison, C.P. Van Tassell, and J.B. Cole. 2019. Defining the optimal period length and stage of growth or lactation to estimate residual feed intake in dairy cows. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2018-15407.

Diniz Valadares, R.F., L.C. Gonçalves, N.M. Rodriguez, S. De Campos Valadares Filho, and I.B. Sampaio. 1997. Níveis de proteína em dietas de bovinos. 4. Concentrações de amônia ruminal e uréia plasmática e excreções de uréia e creatinina. **Rev. Bras. Zootec.**

Dobos, R., and R. Herd. 2008. Spectral analysis of feeding patterns of steers divergent in residual feed intake. Page in Australian **Journal of Experimental Agriculture**.

Fernandes, S.R., J.A. de Freitas, D.F. de Souza, L.H. Kowalski, R.L. Dittrich, P. Rossi Junior, and C.J.A. da Silva. 2012. Serum lipid profile in the assessment of energy metabolism in ruminants.. Lipidograma como Ferram. na Aval. do Metab. Energ. em ruminantes.

Ferrell, C.L., and T.G. Jenkins. 1984. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types.. **J. Anim. Sci.**.. doi:10.2527/jas1984.581234x.

Filho, C.A.A.O., F.S. Machado, A.L. Ferreira, T.R. Tomich, R.M. Maurício, M.M. Campos, C.F.P.G. da Silva, J.A.G. de Azevêdo, and L.G.R. Pereira. 2018. Nutritional plans on the intake, digestibility, and performance of dairy heifers of different breed compositions. **Pesqui. Agropecu. Bras.**.. doi:10.1590/S0100-204X2018000200014.

Fitzsimons, C., D.A. Kenny, M.H. Deighton, A.G. Fahey, and M. McGee. 2013. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. **J. Anim. Sci.** 91:5789–5800. doi:10.2527/jas2013-6956.

Flay, H.E., B. Kuhn-Sherlock, K.A. Macdonald, M. Camara, N. Lopez-Villalobos, D.J. Donaghy, and J.R. Roche. 2019. Hot topic: Selecting cattle for low residual feed intake did not affect daily methane production but increased methane yield. **J. Dairy Sci.**.. doi:10.3168/jds.2018-15234.

Freetly, H.C., L.A. Kuehn, R.M. Thallman, and W.M. Snelling. 2020. Heritability and genetic correlations of feed intake, body weight gain, residual gain, and residual feed intake of beef cattle as heifers and cows. **J. Anim. Sci.**.. doi:10.1093/jas/skz394.

Garrett, W., and D. Johnson. 1983. Nutritional Energetics of Ruminants. **J. Anim. Sci.**.. doi:10.2527/animalsci1983.57Supplement_2478x.

González, F.H.D. 2000. Indicadores Sangüíneos Do Metabolismo Mineral Em. Perf. Metabólico em ruminantes seu uso em Nutr. e doenças Nutr.

Grion, A.L., M.E.Z. Mercadante, J.N.S.G. Cyrillo, S.F.M. Bonilha, E. Magnani, and R.H. Branco. 2014. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle. **J. Anim. Sci.** 92:955–965. doi:10.2527/jas2013-6682.

Guinguina, A., T. Yan, P. Lund, A.R. Bayat, A.L.F. Hellwing, and P. Huhtanen. 2020. Between-cow variation in the components of feed efficiency. **J. Dairy Sci.**.. doi:10.3168/jds.2020-18257.

Harmsen, M., D.P. van Vuuren, B.L. Bodirsky, J. Chateau, O. Durand-Lasserve, L. Drouet, O. Fricko, S. Fujimori, D.E.H.J. Gernaat, T. Hanaoka, J. Hilaire, K. Keramidas, G. Luderer, M.C.P. Moura, F. Sano, S.J. Smith, and K. Wada. 2020. The role of methane in future climate strategies: mitigation potentials and climate impacts. **Clim. Change**. doi:10.1007/s10584-019-02437-2.

Hegarty, R.S., J.P. Goopy, R.M. Herd, and B. McCorkell. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **J. Anim. Sci.** 85:1479–1486. doi:10.2527/jas.2006-236.

Herd, R., J. Archer, and P. Arthur. 2003a. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/2003.8113_suppl_1E9x.

Herd, R.M., J.A. Archer, and P.F. Arthur. 2003b. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. **J. Anim. Sci.** 81:E9-17. doi:/2003.8113_suppl_1E9x.

Herd, R.M., and P.F. Arthur. 2009a. Physiological basis for residual feed intake.. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas.2008-1345.

Herd, R.M., and P.F. Arthur. 2009b. Physiological basis for residual feed intake.. **J. Anim. Sci.** 87. doi:10.2527/jas.2008-1345.

Herd, R.M., V.H. Oddy, and E.C. Richardson. 2004a. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. Aust. **J. Exp. Agric.** 44:423–430. doi:10.1071/ea02220.

Herd, R.M., V.H. Oddy, and E.C. Richardson. 2004b. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. Page in **Australian Journal of Experimental Agriculture**.

Herdt, T.H. 1988. Fuel homeostasis in the ruminant.. Vet. Clin. North Am. **Food Anim. Pract.** doi:10.1016/S0749-0720(15)31045-8.

Islam, M., and S.S. Lee. 2019. Advanced estimation and mitigation strategies: A cumulative approach to enteric methane abatement from ruminants. **J. Anim. Sci. Technol.** doi:10.5187/jast.2019.61.3.122.

Johnson, K.A., and D.E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle.. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/1995.7382483x.

Jones, F.M., F.A. Phillips, T. Naylor, and N.B. Mercer. 2011. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. **Anim. Feed Sci. Technol.** 166–167:302–307. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.020.

Kelly, A.K., M. McGee, D.H. Crews, A.G. Fahey, A.R. Wylie, and D.A. Kenny. 2010a. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. **J. Anim. Sci.** 88:109–123. doi:10.2527/jas.2009-2196.

Kelly, A.K., M. McGee, D.H. Crews, T. Sweeney, T.M. Boland, and D.A. Kenny. 2010b. Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior, and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. **J. Anim. Sci.** 88:3214–3225. doi:10.2527/jas.2009-2700.

Kenny, D.A., C. Fitzsimons, S.M. Waters, and M. McGee. 2018a. Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle - The current state of the art and future challenges. **Animal.**

doi:10.1017/S1751731118000976.

Knapp, J.R., G.L. Laur, P.A. Vadas, W.P. Weiss, and J.M. Tricarico. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2013-7234.

Koch, R.M., L.A. Swiger, D. Chambers, and K.E. Gregory. 1963. Efficiency of Feed Use in Beef Cattle. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas1963.222486x.

Kolver, E., L.D. Muller, G.A. Varga, and T.J. Cassidy. 1998. Synchronization of Ruminal Degradation of Supplemental Carbohydrate with Pasture Nitrogen in Lactating Dairy Cows. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75776-5.

Krehbiel, C.R., K.K. Kreikemeier, and C.L. Ferrell. 2000. Influence of *Bos indicus* crossbreeding and cattle age on apparent utilization of a high-grain diet. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/2000.7861641x.

Lage, C.F.A., S.G. Coelho, H.C. Diniz Neto, V.M.R. Malacco, J.P.P. Rodrigues, J.P. Sacramento, V.A. Teixeira, F.S. Machado, L.G.R. Pereira, T.R. Tomich, and M.M. Campos. 2020. Relationship between feed efficiency indexes and thermography, blood, and ruminal parameters in pre-weaning dairy heifers. **PLoS One**. doi:10.1371/journal.pone.0236118.

Lawrence, P., D.A. Kenny, B. Earley, J.H. Crews, and M. McGee. 2011. Grass silage intake, rumen and blood variables, ultrasonic and body measurements, feeding behavior, and activity in pregnant beef heifers differing in phenotypic residual feed intake. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas.2010-3774.

Leão, J.M., S.G. Coelho, F.S. Machado, R.A. Azevedo, J.A.M. Lima, J.C. Carneiro, C.F.A. Lage, A.L. Ferreira, L.G.R. Pereira, T.R. Tomich, and M.M. Campos. 2018a. Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2017-14109.

Leão, J.M., S.G. Coelho, F.S. Machado, R.A. Azevedo, J.A.M. Lima, J.C. Carneiro, C.F.A. Lage, A.L. Ferreira, L.G.R. Pereira, T.R. Tomich, and M.M. Campos. 2018b. Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2017-14109.

Lin, Z., I. Macleod, and J.E. Pryce. 2013. Short communication: Estimation of genetic parameters for residual feed intake and feeding behavior traits in dairy heifers. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2012-6134.

Lofgreen, G.P., and W.N. Garrett. 1968. A System for Expressing Net Energy Requirements and Feed Values for Growing and Finishing Beef Cattle. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas1968.273793x.

Macdonald, K.A., J.E. Pryce, R.J. Spelman, S.R. Davis, W.J. Wales, G.C. Waghorn, Y.J. Williams, L.C. Marett, and B.J. Hayes. 2014. Holstein-Friesian calves selected for divergence in residual feed intake during growth exhibited significant but reduced residual feed intake divergence in their first lactation. **J. Dairy Sci.** 97:1427–1435. doi:10.3168/jds.2013-7227.

Machado, F.S., T.R. Tomich, A.L. Ferreira, L.F.L. Cavalcanti, M.M. Campos, C.A.V. Paiva, M.N. Ribas, and L.G.R. Pereira. 2016. Technical note: A facility for respiration measurements in cattle. **J. Dairy Sci.** 99:4899–4906. doi:10.3168/jds.2015-10298.

McDonnell, R.P., K.J. Hart, T.M. Boland, A.K. Kelly, M. McGee, and D.A. Kenny. 2016. Effect of divergence in phenotypic residual feed intake on methane emissions, ruminal fermentation, and apparent whole-tract digestibility of beef heifers across three contrasting diets. **J. Anim. Sci.** 94:1179–1193. doi:10.2527/jas2015-0080.

Miglior, F., A. Fleming, F. Malchiodi, L.F. Brito, P. Martin, and C.F. Baes. 2017. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2017-12968.

Montanholi, Y.R., K.C. Swanson, F.S. Schenkel, B.W. McBride, T.R. Caldwell, and S.P. Miller. 2009. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livest. Sci.** 125:22–30. doi:10.1016/j.livsci.2009.02.022.

Nascimento, C.F., R.H. Branco, S.F.M. Bonilha, J.N.S.G. Cyrillo, J.A. Negrão, and M.E.Z. Mercadante. 2015. Residual feed intake and blood variables in young Nellore cattle. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas.2014-8368.

National Research Council, N. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle.

Negussie, E., Y. de Haas, F. Dehareng, R.J. Dewhurst, J. Dijkstra, N. Gengler, D.P. Morgavi, H. Soyeurt, S. van Gastelen, T. Yan, and F. Biscarini. 2017. Invited review: Large-scale indirect measurements for enteric methane emissions in dairy cattle: A review of proxies and their potential for use in management and breeding decisions. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2016-12030.

Niu, M., E. Kebreab, A.N. Hristov, J. Oh, C. Arndt, A. Bannink, A.R. Bayat, A.F. Brito, T. Boland, D. Casper, L.A. Crompton, J. Dijkstra, M.A. Eugène, P.C. Garnsworthy, M.N. Haque, A.L.F. Hellwing, P. Huhtanen, M. Kreuzer, B. Kuhla, P. Lund, J. Madsen, C. Martin, S.C. McClelland, M. McGee, P.J. Moate, S. Muetzel, C. Muñoz, P. O’Kiely, N. Peiren, C.K. Reynolds, A. Schwarm, K.J. Shingfield, T.M. Storlien, M.R. Weisbjerg, D.R. Yáñez-Ruiz, and Z. Yu. 2018. Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. **Glob. Chang. Biol.** doi:10.1111/gcb.14094.

Nkrumah, J.D., J.D. Nkrumah, E.K. Okine, E.K. Okine, G.W. Mathison, G.W. Mathison, K. Schmid, K. Schmid, C. Li, C. Li, J. a Basarab, J. a Basarab, M. a Price, M. a Price, Z. Wang, Z. Wang, S.S. Moore, and S.S. Moore. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **J. Anim. Sci.**

Nkrumah, J.D., E.L. Sherman, C. Li, E. Marques, D.H. Crews, R. Bartusiak, B. Murdoch, Z. Wang, J.A. Basarab, and S.S. Moore. 2007. Primary genome scan to identify putative quantitative trait loci for feedlot growth rate, feed intake, and feed efficiency of beef cattle. **J. Anim. Sci.** 85:3170. doi:10.2527/jas.2007-0234.

NRC. 1981. Asymmetric Blowdown Loads on PWR Primary Systems.

NRC. 1984. Environmental Qualification of Certain Electric Equipment Important to Safety for

Nuclear Power Plants. Regul. Guid. 1.89.

NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Nutr. Requir. Beef Cattle 249. doi:10.17226/9791.

NRC, and S.R. Edition. 2001. Requirements of Dairy Cattle Seventh Revised Edition , 2001.

Olijhoek, D.W., G.F. Difford, P. Lund, and P. Løvendahl. 2020. Phenotypic modeling of residual feed intake using physical activity and methane production as energy sinks. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2019-17489.

Olijhoek, D.W., P. Løvendahl, J. Lassen, A.L.F. Hellwing, J.K. Höglund, M.R. Weisbjerg, S.J. Noel, F. McLean, O. Højberg, and P. Lund. 2018. Methane production, rumen fermentation, and diet digestibility of Holstein and Jersey dairy cows being divergent in residual feed intake and fed at 2 forage-to-concentrate ratios. **J. Dairy Sci.** 101. doi:10.3168/jds.2017-14278.

Ornelas, L.T.C., D.C. Silva, T.R. Tomich, M.M. Campos, F.S. Machado, A.L. Ferreira, R.M. Maurício, and L.G.R. Pereira. 2019. Differences in methane production, yield and intensity and its effects on metabolism of dairy heifers. **Sci. Total Environ.** doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.489.

Pereira, L.G.R., F.S. Machado, M.M. Campos, R.G. Júnior, T.R. Tomich, L.G. Reis, and C. Coombs. 2015. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: A review. **Rev. Colomb. Ciencias Pecu.** doi:10.17533/udea.rccp.v28n2a02.

Pereira, R.J., D.R. Ayres, L. El Faro, A.E.V. Filho, R. da S. Verneque, and L.G. de Albuquerque. 2013. Genetic parameters for production traits of dairy Gyr (*Bos indicus*) × Holstein cattle estimated with a random regression model. **Livest. Sci.** doi:10.1016/j.livsci.2013.10.003.

Pryce, J.E., W.J. Wales, Y. de Haas, R.F. Veerkamp, and B.J. Hayes. 2014. Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle.. **Animal** 8:1–10. doi:10.1017/S1751731113001687.

Richardson, E.C. a, and R.M.B. Herd. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle . 2 . Synthesis of results following divergent selection Cooperative Research Centre for Cattle and Beef Quality .. Aust. **J. Exp. Agric.** 44:431–440. doi:10.1071/EA02221.

Richardson, E.C., R.M. Herd, P.F. Arthur, J. Wright, G. Xu, K. Dibley, and V.H. Oddy. 1996. Possible Physiological Indicators for Net Feed Conversion Efficiency in Beef Cattle. Aust. Soc. **Anim. Prod.**

Rius, A.G., S. Kittelmann, K.A. Macdonald, G.C. Waghorn, P.H. Janssen, and E. Sikkema. 2012. Nitrogen metabolism and rumen microbial enumeration in lactating cows with divergent residual feed intake fed high-digestibility pasture. **J. Dairy Sci.** 95:5024–5034. doi:10.3168/jds.2012-5392.

Rivera, A.R., T.T. Berchielli, J.D. Messana, P.T. Velasquez, A.V.M. Franco, and L.B. Fernandes. 2010. Fermentação ruminal e produção de metano em bovinos alimentados com feno de capim-tifton 85 e concentrado com aditivos. **Rev. Bras. Zootec.** doi:10.1590/s1516-

35982010000300022.

Ruas, J.R.M., E.A. da Silva, D.S. Queiroz, M.E.G. Pereira, J.A.G. Soares, M.D. Santos, V.R. Rocha, and M.D. da Costa. 2014. Características produtivas da lactação de quatro grupos genéticos F1 Holandês x Zebu. **Rev. Bras. Ciência Veterinária**. doi:10.4322/rbcv.2014.014.

Santana, M.L., R.J. Pereira, A.B. Bignardi, L. El Faro, H. Tonhati, and L.G. Albuquerque. 2014. History, structure, and genetic diversity of Brazilian Gir cattle. **Livest. Sci.** doi:10.1016/j.livsci.2014.02.007.

Seymour, D.J., A. Cánovas, C.F. Baes, T.C.S. Chud, V.R. Osborne, J.P. Cant, L.F. Brito, B. Gredler-Grandl, R. Finocchiaro, R.F. Veerkamp, Y. de Haas, and F. Miglior. 2019. Invited review: Determination of large-scale individual dry matter intake phenotypes in dairy cattle. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2019-16454.

Seymour, D.J., A. Cánovas, T.C.S. Chud, J.P. Cant, V.R. Osborne, C.F. Baes, F.S. Schenkel, and F. Miglior. 2020. The dynamic behavior of feed efficiency in primiparous dairy cattle. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2019-17414.

Shetty, N., P. Løvendahl, M.S. Lund, and A.J. Buitenhuis. 2017. Prediction and validation of residual feed intake and dry matter intake in Danish lactating dairy cows using mid-infrared spectroscopy of milk. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2016-11609.

Shonka-Martin, B.N., A.R. Hazel, B.J. Heins, and L.B. Hansen. 2019. Three-breed rotational crossbreds of Montbéliarde, Viking Red, and Holstein compared with Holstein cows for dry matter intake, body traits, and production. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2018-15318.

Silva, J.F.C. da, and M.I. LEÃO. 1979. Fundamentos de Nutrição Dos Ruminantes.

Silva Pessoa, R.A., M.I. Leão, M. de Andrade Ferreira, S. de Campos Valadares Filho, R.F. Diniz Valadares, and A.C. de Queiroz. 2009. Balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana em novilhas leiteiras alimentadas com palma forrageira, bagaço de cana-deaçúcar e uréia associados a diferentes suplementos. **Rev. Bras. Zootec.** doi:10.1590/S1516-35982009000500022.

Valadares Filho, S. de C., L.F.C. e Silva, M.P. Gionbelli, P.P. Rotta, M.I. Marcondes, M.L. Chizzotti, and L.F. Prados. 2016. Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - **BR-CORTE**.

VandeHaar, M.J., L.E. Armentano, K. Weigel, D.M. Spurlock, R.J. Tempelman, and R. Veerkamp. 2016. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. **J. Dairy Sci.** 99:4941–4954. doi:10.3168/jds.2015-10352.

VandeHaar, M.J., and N. St-Pierre. 2006. Major advances in nutrition: Relevance to the sustainability of the dairy industry. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72196-8.

VandeHaar, M.J., and R.J. Tempelman. 2017. Feeding and breeding to improve feed efficiency and sustainability.

Velazco, J.I., D.G. Mayer, S. Zimmerman, and R.S. Hegarty. 2016. Use of short-term breath measures to estimate daily methane production by cattle. **Animal**. doi:10.1017/S1751731115001603.

Waghorn, G.C., and R.S. Hegarty. 2011. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. **Anim. Feed Sci. Technol.** doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.019.

Waghorn, G.C., K.A. Macdonald, Y. Williams, S.R. Davis, and R.J. Spelman. 2012. Measuring residual feed intake in dairy heifers fed an alfalfa (*Medicago sativa*) cube diet. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2011-4670.

Williams, Y.J., J.E. Pryce, C. Grainger, W.J. Wales, N. Linden, M. Porker, and B.J. Hayes. 2011. Variation in residual feed intake in Holstein-Friesian dairy heifers in southern Australia. **J. Dairy Sci.** 94:4715–4725. doi:10.3168/jds.2010-4015.

Yan, T., C.S. Mayne, F.G. Gordon, M.G. Porter, R.E. Agnew, D.C. Patterson, C.P. Ferris, and D.J. Kilpatrick. 2010. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2009-2929.

Zhang, X.M., R. Wang, Z.Y. Ma, M. Wang, and Z.L. Tan. 2020. Enteric methane emissions and mitigation strategies in ruminants. **J. Agro-Environment Sci.** doi:10.11654/jaes.2020-0105.

3 CAPÍTULO II - RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E METABOLISMO ENERGÉTICO EM NOVILHAS GIR

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram: *i*) classificar novilhas Gir em grupos de alta e baixa eficiência alimentar (EA) para consumo alimentar residual (CAR) e consumo e ganho de peso residual (CGR), e *ii*) avaliar os efeitos da oferta de alimentos (*ad libitum* e restrito) nos grupos de AE e BE (CAR e CGR) sobre o consumo, digestibilidade de nutrientes, partição energética, produção de calor (PC), emissão de metano entérico, metabolismo de nitrogênio e concentrações de glicose sanguínea de novilhas Gir. Trinta e sete novilhas foram classificadas em alta (AE) ou baixa eficiência (BE) para CAR (CAR AE n = 12 e CAR BE n = 12) e CGR (CGR AE n = 12 e CGR BE n = 12) usando como critério de classificação a média \pm 0,5 DP. As novilhas AE e BE tiveram valores de CAR de -0,358 e 0,337 kg/d ($P < 0,01$), respectivamente. Já os valores para AE e BE para CGR foram de 0,449 e -0,473 kg/d ($P < 0,01$), respectivamente. As novilhas foram alojadas em sistema *tie-stall* e receberam dieta total (75% silagem de milho e 25% concentrado) com a oferta alimentar na primeira fase *ad libitum* e na segunda fase oferta restrita (1,2% PV). Foram avaliadas a digestibilidade dos nutrientes e as trocas gasosas (consumo de oxigênio O₂, emissão de CO₂ e CH₄) em câmaras respirométricas (CR) de circuito aberto. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com medidas repetidas (oferta de alimentos e eficiência alimentar CAR e CGR). Os animais AE CAR apresentaram um consumo de MS inferior ($P = 0,04$) em comparação com o grupo BE CAR (3,03 vs. 3,62 kg/d, respectivamente). Animais de AE para CAR também apresentaram menor ($P < 0,05$) consumo da MO, PB e EE (kg/d) e tendência ($P > 0,05$) de maior digestibilidade de MS e MO. O consumo da energia bruta (CEB, Mcal/d) foi menor para as novilhas de AE CAR (13,6 vs. 16,2; $P = 0,05$). O grupo AE CAR apresentou menor perdas de energia fecal expresso em (Mcal/d e %CEB; $P = 0,02$, $P = 0,01$, respectivamente) em relação a BE CAR. O grupo AE CAR também apresentou maior relação entre energia digestível e energia bruta (ED:EB, 74,0 vs. 72,2; $P = 0,03$) e uma tendência de maior relação entre energia metabolizável e energia bruta (EM:EB, $P > 0,05$). As trocas respiratórias VO₂ e VCO₂, expressas em L/d e L/kg PC^{0.75} e as EME foram semelhantes ($P > 0,05$) para os grupos de AE e BE. Os níveis de oferta da dieta, parecer não ser um fator decisivo na investigação dos grupos de alta e baixa EA (CAR e CGR). Em geral, maior eficiência para CAR durante a fase de recria, parece estar relacionada a diferenças na digestibilidade e na partição energética da dieta, mostrando a importância do metabolismo energético na definição do índice CAR. Ao agrupar os animais baseado no índice CGR, não houve divergência entre os grupos nas avaliações do metabolismo, dado que o GMD foi o mesmo para os animais. As diferenças na EA para novilhas Gir, podem estar associadas as eficiências uso de energia para crescimento.

Palavras-chave: consumo alimentar residual, digestibilidade, partição de energia, metano.

ABSTRACT

The objectives of this study were: *i*) to classify Gyr heifers into groups of high and low feed efficiency (FE) for residual feed intake (RFI) and residual intake and body weight gain (RIG), and *ii*) to evaluate effects of food supply (ad libitum and restricted) on HE and LE Gyr heifers groups (RFI and RIG) in consumption, nutrient digestibility, energy partitioning, heat production (HP), enteric methane emission, nitrogen partitioning and concentration of glucose in blood. Thirty-seven heifers were classified in high (HE) and low efficiency (LE) for RFI (RFI HE $n = 12$ and RFI LE $n = 12$) and RIG (RIG HE $n = 12$ and RIG LE $n = 12$) using the mean ± 0.5 SD as the basis of classification. The Heifers HE and LE showed values of RFI of -0.358 and 0.337 kg/d ($P < 0.01$), respectively. The values of the HE and LE for RIG were of 0.449 and -0.473 kg/d ($P < 0.01$), respectively. The heifers were housed in a tie-stall, received ad libitum total diet (75% corn silage and 25% concentrate) in first stage and feed restricted (1.2%BW) in second stage. Gas exchange evaluations were performed (consumption of oxygen O_2 and production of CO_2 and CH_4) in open-circuit respirometry chambers (RC) and digestibility of nutrients. A completely randomized experimental design in a factorial scheme with repeated measures (food supply and food efficiency RFI and RIG) was adopted. HE RFI animals showed DM consumption lower ($P = 0.04$) than LE RFI (3.03 vs. 3.62 kg/d, respectively). LE RFI also demonstrated lower ($P < 0.05$) OM, CP and EE and trend towards DM and OM greater digestibility. Gross energy intake (GEI, Mcal/d) was lower for HE RFI heifers (13.6 vs. 16.2 ; $P = 0.05$). HE RFI group had lower fecal energy losses (Mcal/d and %GEI; $P = 0.02$, $P = 0.01$, respectively) compared to LE RFI. High efficiency CAR group also showed higher ratio between digestible energy and gross energy (DE:GE, 74.0 vs. 72.2 ; $P = 0.03$) and higher ratio trend towards between metabolizable energy and gross energy (ME:GE, $P > 0.05$). The respiratory exchanges (VO_2 and VCO_2 , expressed in L/d and L/kg $BW^{0.75}$; $P > 0.05$) were similar for the groups of HE and LE. Diet supply levels do not seem to be a decisive factor in high and low FE groups investigation (RFI and RIG). Overall, higher efficiency for RFI during the rearing stage seems to be related to differences in digestibility and energy partition of the diet, showing the energy metabolism importance in defining of RFI index. When grouping the animals based on the RIG index, there was no divergence between the groups in the assessments of metabolism, because average daily gain (ADG) was the same for the animals. The Gyr heifers FE differences may be associated with energy use efficiencies for growth.

Key-words: residual feed intake, digestibility, energy partitioning, methane.

3.1 INTRODUÇÃO

Na busca pela sustentabilidade, animais mais eficientes na conversão de alimentos em produtos animais (carne e leite) são de inquestionável relevância (Britt et al., 2018). Novilhas leiteiras são necessárias para manutenção e crescimento dos rebanhos (Silva et al., 2017) e representam mais de 12% das despesas totais da fazenda leiteira, considerando só a alimentação (Gabler et al., 2000). Algumas fazendas de gado leiteiro são mais eficientes e econômicas na criação de novilhas do que outras (Erickson e Kalscheur, 2019).

A eficiência alimentar (EA) tem melhorado por décadas, indiretamente por meio da seleção baseada na maior produção de leite (Macdonald et al., 2014; Pryce et al., 2014), apresentando influência na lucratividade e minimizando o impacto ambiental da pecuária leiteira (Guinguina et al., 2020b). Compreender a base fisiológica da divergência entre animais com alta ou baixa EA pode ajudar a identificar e selecionar animais mais eficientes (Lage et al., 2020).

Nesse contexto, pesquisas sobre o consumo alimentar residual (CAR), conforme proposto por Koch et al. (1963), vem sendo conduzidas em bovinos leiteiros, mostrando que animais mais eficientes apresentam menores perdas de energia como CH₄ entérico (Nkrumah et al., 2006; Hristov et al., 2015; Flay et al., 2019; Guinguina et al., 2020a; Olijhoek et al., 2020), maior retenção de energia e proteína (Basarab et al., 2007) e menor produção de calor (Nkrumah et al., 2006; Leão et al., 2018; Cabral da Silva et al., 2020). Porém, ao selecionar animais com base no CAR, indiretamente animais de crescimento lento podem ser selecionados; assim Berry e Crowley (2012), propuseram o uso do consumo e ganho residual (CGR) como um índice alternativo, pois pode identificar animais que crescem rapidamente e consomem proporcionalmente menos do que o esperado.

Pesquisas sobre EA em animais *Bos indicus* e seus mestiços foram realizadas no Brasil, revelando que os animais de alta eficiência apresentaram maior digestibilidade dos nutrientes da dieta, consumiram menos O₂ e produziram menos CO₂ e CH₄ entérico, apresentaram menor gasto de energia na produção de calor, maiores concentrações de glicose, melhor metabolismo energético e proteico (Leão et al., 2018; de Assis Lage et al., 2019; Cabral da Silva et al., 2020; Lage et al., 2020). A investigação das medidas de calorimetria indireta (Machado et al., 2016), tornou possível a determinação das necessidades nutricionais e eficiência energética. Nosso estudo pioneiro no Brasil, tenta compreender os índices de EA durante a fase de crescimento da raça Gir, para poder aumentar o progresso em seu uso, auxiliando nas decisões de seleção dos animais no início de sua vida produtiva.

Assim, os objetivos com este estudo foram: *i*) classificar novilhas Gir em grupos de alta e baixa eficiência alimentar (EA), para consumo alimentar residual (CAR) e consumo e ganho de peso residual (CGR), e *ii*) avaliar os efeitos da oferta de alimentos (*ad libitum* e restrito) e os grupos de AE e BE (CAR e CGR) sobre o consumo, digestibilidade de nutrientes, partição energética, produção de calor (PC), emissão de metano entérico, metabolismo de nitrogênio e concentrações de glicose sanguínea de novilhas Gir.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite (número: 1201110717). O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil.

3.2.1 Ensaio de eficiência alimentar

Dois índices de EA (CAR e CGR) foram estimados em trinta e sete novilhas Gir, com média de 143 d \pm 4 d de idade e 120,3 \pm 10,9 kg de peso vivo (PV) em um período

experimental de 91 d. As novilhas foram pesadas uma vez por semana antes da alimentação em balança eletrônica (Toledo MGR-2000, São Bernardo, Brasil). O ganho de peso médio diário (GMD) foi calculado como o coeficiente de regressão linear do peso vivo, usando o procedimento PROC REG do software Statistical Analysis Software (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Ao todo foram realizadas 14 medições do PC por novilha em intervalos de 7 d e o peso vivo metabólico ($PV^{0.75}$) foi calculado usando o PV no dia 45.

O consumo de matéria seca (CMS), $PV^{0.75}$ e GMD foram usados para estimar o consumo alimentar residual (CAR) e o ganho de peso residual (GR) usando regressões lineares (Koch et al., 1963), no qual CAR e GR foram calculados como as diferenças entre o consumo real e previsto de matéria seca (CMS) e o ganho real e previsto (GMD), respectivamente, como segue:

$$Y_j = \beta_0 + \beta_1 (PC^{0.75}_j) + \beta_2 (CMS_j \text{ ou } GMD_j) + e_j,$$

Em que Y_j é o CMS (CAR) ou GMD (GR) padronizado do animal j , β_0 é a interceptação, β_1 é o coeficiente de regressão para $PC^{0.75}$, β_2 é o coeficiente de regressão para GMD (CAR) ou CMS (RG), e e_j é a margem de erro para o animal j .

O cálculo de GR foi realizado para estimar um terceiro índice de EA; o consumo e ganho residual (CGR). Para calcular o CGR, os resíduos de CAR e GR foram adicionados, segundo Berry e Crowley (2012):

$$CGR = [CAR \times (-1)] + GR$$

O CAR e CGR surgiram como uma forma de identificar e classificar os animais quanto à eficiência, quanto ao consumo, ganho de peso vivo ou ambos. Com base nesses índices, os animais foram classificados em quatro grupos: alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) para CAR e CGR (Tabela 1). As classificações em alto e baixo CAR baseiam-se em desvios de 0,5 em relação à média encontrada para o CAR em determinado grupo de avaliação ($>0,5$ DP acima da média; $n = 12$, baixa eficiência; $<0,5$ do desvio padrão (DP)

baixo da média $n = 12$, alta eficiência), (Manafiazar et al., 2015). Os animais de AE CGR ($>0,5$ DP acima da média; $n = 12$), enquanto que BE CGR ($<0,5$ DP abaixo da média; $n = 12$).

Tabela 1. Médias pré-experimentais de eficiência alimentar¹ para os índices consumo alimentar residual (CAR) e consumo e ganho residual (CGR) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar.

Itens	CAR		EPM ²	Valor P^3	CGR		EPM	Valor P
	AE	BE			AE	BE		
CAR (kg/d)	-0,358	0,337	0,33	$<0,01$	-	-	-	-
CGR (kg/d)	-	-	-	-	0,449	-0,473	0,41	$<0,01$
CMS (kg/d) ⁴	2,5	3,1	0,8	$<0,01$	2,6	3,1	0,8	$<0,01$
PV médio (kg) ⁵	120	118	26,0	-	124	118	26,0	-
GMD(kg/d) ⁶	0,305	0,237	0,19	-	0,374	0,226	0,18	-

¹Seleção dos animais divergentes para CAR e CGR, baseou-se nos dados do teste de EA de um estudo anterior.

²Erro padrão da média

³Diferença estatística entre AE e BE

⁴Consumo de matéria seca

⁵Peso vivo médio

⁶Ganho médio diário

3.2.2 Ensaio de Metabolismo

3.2.2.1 Novilhas, alojamento e manejo

Na fase experimental pós ensaio de eficiência alimentar de 90 d, as novilhas Gir tinham em média 250 ± 21 d de idade e $173,0 \pm 25,1$ kg de peso vivo no início do estudo de metabolismo. As novilhas foram alojadas em baias individuais (2,5 x 1,2 m) com camas de borracha (WingFlex, Kraiburg TPE GmbH & Co.,Waldkraiburg, Alemanha). Os animais recebiam a mesma dieta total do ensaio de eficiência alimentar. A dieta continha 75% de silagem de milho e 25 % de concentrado (63% de farelo de soja, 30% de milho moído e 7% de mistura mineral) base da matéria seca. Os conteúdos de MS e proteína bruta (PB) da dieta foram de 44,8 e 141 g/kg de MS, respectivamente, (Tabela 2). A água estava disponível *ad*

libitum e os ajustes na dieta foram feitos duas vezes por semana devido a possíveis alterações no teor de MS da silagem, para proporcionar ganho de peso com base no NRC (2001).

Tabela 2. Composição química dos alimentos usados no período de teste (DTM, silagem de milho e concentrado).

Composição	Concentrado ¹	Silagem de milho	DTM ²
Matéria seca (g/kg)	828	321	448
Matéria orgânica (g/kg)	875	950	931
Proteína bruta (g/kg)	322	80,8	141
Extrato etéreo (g/kg)	43,6	42,2	42,6
Fibra detergente neutra (g/kg)	111	384	316
Carboidratos não fibrosos (g/kg)	422	443	438,2
Energia bruta (kcal/kg)	4318	4510	4462

¹Composição do concentrado: 63% farelo de soja, 30% milho moído e 7% Mineral*.

*Mineral Fosbovi 40 (DSM®, São Paulo, Brasil): 260 g/kg cálcio; 174 g/kg fósforo; 24 g/kg enxofre; 100 mg/kg cobalto; 1250 mg/kg cobre; 1790 mg/kg ferro; 90 mg/kg iodo; 2000 mg/kg manganês; 10 mg/kg selênio; e 5270 mg/kg zinco.

²Dieta total misturada

As 37 novilhas foram avaliadas no experimento que constituiu de uma primeira fase com oferta de consumo *ad libitum* para os ensaios de digestibilidade aparente e estudo de trocas gasosas com câmaras respirométricas de circuito aberto. Na segunda fase, todos os animais passaram por um período de avaliação com a dieta em restrição alimentar (1,2% do PV, próximo ao nível de manutenção), repetindo o ensaio de digestibilidade e câmaras respirométricas.

As novilhas foram alimentadas uma vez por dia às 8h30 na primeira fase *ad libitum*. A quantidade diária de dieta total oferecida foi ajustada para permitir 10% de sobras de acordo com a alimentação, com base na ingestão do dia anterior, as sobras foram removidas e

pesadas diariamente antes da alimentação. Já na segunda fase, no período de restrição alimentar, foram fornecidos duas vezes ao dia, às 8 e 16h.

Devido à restrição de apenas quatro câmaras respirométricas, foi necessário escalonar as avaliações de digestibilidade e respirometria. As novilhas foram divididas aleatoriamente em três grupos (números: 11, 14 e 12) sem conhecimento prévio da classificação EA. O período experimental consistiu em 10 dias de adaptação e 5 dias de período experimental no ensaio de metabolismo. As novilhas foram adaptadas as câmaras respirométricas antes do início do ensaio de metabolismo.

3.2.2.2 Consumo e digestibilidade aparente

Para a determinação acurada das perdas energéticas e de nutrientes via fezes e urina, foram realizados dois ensaios de digestibilidade. Na primeira fase, o ensaio de digestibilidade com oferta alimentar *ad libitum*, as fezes totais foram coletadas dos dias 11 a 15, e a urina total foi coletada no dia 11, para estimar a digestibilidade e balanço de nitrogênio. Recipientes plásticos (50 L) devidamente tampados e identificados foram utilizados para a coleta individual das fezes. O material fecal produzido por cada animal foi pesado duas vezes ao dia (10h e 16h) e após a homogeneização do conteúdo dentro de cada recipiente de plástico, foram amostrados aproximadamente 500 g de fezes. Amostras de silagem, concentrado e sobras foram coletadas diariamente durante 5 dias consecutivos e armazenadas a -20°C para processamento e análises. Após o descongelamento, as amostras de ração, sobras e fezes foram secas em estufa de ventilação forçada (55 °C) por 72 h e processadas em moinho Wiley de 1 mm (A. H. Thomas, Filadélfia, PA).

O ensaio de digestibilidade total do trato digestório na segunda fase com oferta alimentar em restrição, com o CMS de 1,2% do PC, teve cinco dias de duração. Neste estudo, a dieta foi formulada de acordo com o NRC (2001) para proporcionar ganhos pequenos de peso (0,100 kg/d); todos os animais foram restringidos ao mesmo nível de

consumo de matéria seca (CMS) restrito de 1,2% do PC. Houve um período de adaptação à dieta restrita, com duração de 21 dias. A adaptação teve como objetivo a adequação do metabolismo dos animais ao novo plano alimentar, até que o consumo fosse estabilizado, de forma a manter os animais próximos ao equilíbrio de energia, ou seja, com mínimo ganho de peso.

Amostras de silagem de milho, concentrado, sobras e fezes foram analisadas (AOAC, 1990) para conteúdo de MS (método 930.15), cinzas (método 924.05), proteína bruta (CP: método 984.13), extrato etéreo (EE: método 920.39) e FDN (Van Soest, 1991), adaptado para analisador de fibra ANKOM220 (Ankom Technology, Fairport, NY), usando bolsas de filtro F57 (ANKOM®), com adição de 500 µL/g MS de amilase termoestável sem sulfito de sódio e corrigido para cinzas e nitrogênio (Mertens, 1997). A concentração de carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculada por $CNF = 100 - (\%FDN + \%PB + \%EE + \%CZ)$ de acordo com Mertens (1997). A energia bruta (EB) foi determinada usando calorímetro adiabático (IKA - C5000, IKA® Works, Staufen, Alemanha).

Para determinar o consumo de MS e de nutrientes, foi utilizada a equação: $CMS = (MS \text{ ofertado} - MS \text{ das sobras})$. Os valores de digestibilidade (g/kg) foram determinados em função do desaparecimento do nutriente, considerando a equação: $\text{Digestibilidade do nutriente} = ((kg \text{ MS ingerida} \times \% \text{ nutriente}) - (kg \text{ MS fezes} \times \% \text{ nutriente})) / (kg \text{ MS ingerida} \times \% \text{ nutriente}) \times 100$.

3.2.2.3 Balanço de nitrogênio

No primeiro dia do ensaio da digestibilidade total tanto no período *ad libitum* quanto na segunda fase restrito, foi realizada a coleta de urina dos animais. Foi coletada uma amostra de urina 4 h após a alimentação dos animais (Valadares et al., 1999) e posteriormente com intervalo de 2 h até as 24 h de coleta spot de urina. Durante a coleta, alguns animais apresentavam micção espontânea, enquanto que para outros foi necessária a estimulação na

área vulvar (Rosenberger, 1993). Após a coleta de 24 h, as amostras foram homogeneizadas e duas amostras de 50 g cada foram coletadas e armazenadas a -20 °C para análises de nitrogênio, energia bruta (EB) e creatinina. As amostras de urina foram analisadas quanto a EB (método calorimétrico) e a quantificação do teor de nitrogênio pelo método Kjeldahl. As concentrações de creatinina para determinação do volume urinário foram determinadas em laboratório especializado terceirizado utilizando-se analisador COBAS® INTEGRA 400 Plus (Roche Diagnóstica Brasil Ltda., São Paulo, Brasil).

O volume urinário foi estimado multiplicando-se o PC pela excreção diária de creatinina (mg/kg PC) e dividindo-se o produto pela concentração de creatinina (mg/L) na urina. Para obtenção da excreção diária de creatinina por kg de PC, adotou-se a média de 28,72 mg/kg PC, obtida por Rennó (2008). O balanço de nitrogênio foi calculado de acordo com a equação: $\text{nitrogênio retido (g/d)} = \text{nitrogênio ingerido} - (\text{nitrogênio fecal} + \text{nitrogênio urinário})$.

3.2.2.4 Partição de energia

O consumo de energia bruta (CEB) e a produção diária de energia fecal e urinária foram obtidas multiplicando-se o CMS e as excreções fecal e urinária com seus respectivos conteúdos energéticos. O consumo de energia digestível (CED) foi calculado pela diferença entre o CEB e a excreção de energia fecal. O consumo de energia metabolizável (CEM) foi estimado como a diferença entre o CED e a soma da energia da urina e da energia do CH₄, que foi considerada como 9,45 Kcal/L (Brouwer, 1965). A retenção de energia foi calculada como a diferença entre o CEM e a produção de calor (PC). A produção de calor (PC; Mcal/d) foi determinada com base em medições de consumo de O₂ (L/d), produção de CO₂ e CH₄ (L/d) e produção de nitrogênio na urina (g/d), aplicando a equação de (Brouwer, 1965).

3.2.2.5 Trocas respiratórias e emissão de metano entérico

Imediatamente após cada ensaio de digestibilidade total no período *ad libitum* e restrito, seguindo o escalonamento do ensaio de digestibilidade já citado acima, foi realizado o ensaio de respirometria nas quatro câmaras respiratórias (CR) de circuito aberto para medições de consumo de O₂ e produção de CO₂ e CH₄ (Machado et al., 2016; Silva et al., 2020). Condições de termoneutralidade foram mantidas no interior das câmaras durante as mensurações, correspondendo à temperatura média de 22±3°C e umidade relativa do ar de 65±5%. Um gerador de fluxo e medidor de fluxo de massa contínuo garantiram leve pressão negativa dentro da câmara. O ar de todas as câmaras e o ar ambiente compartilharam o sistema de análise de gás e aquisição de dados para monitorar as concentrações de O₂, CO₂ e CH₄ entérico ao longo de todo o período de medição, com o tempo de ciclo definido para 20 min para cada medição.

Duas sequências de medidas de respiração de 22 h foram obtidas por animal, os quais foram alocados aleatoriamente em cada câmara. O consumo de MS dentro da câmara foi medido e comparado com o consumo de MS médio durante o ensaio de digestibilidade da respectiva novilha e se o consumo diminuísse em mais de 5%, a medição da respiração era repetida. O mesmo procedimento aplicado para o ensaio de digestibilidade foi utilizado para calcular o CMS dentro da câmara. Os animais foram pesados antes e após entrarem na câmara. Ao longo de cada período de medição de 22 h, as taxas de trocas gasosas obtidas para cada tempo de ciclo foram usadas para calcular as trocas gasosas totais como a área sob a curva, que foi extrapolada para um período de 24 h.

3.2.2.6 Glicose Sanguínea

Amostras de sangue de todos os animais foram coletadas para determinação da concentração de glicose após os ensaios de digestibilidade no período *ad libitum* e período restrito, 4 h após a oferta da DTM. Para a coleta das amostras foram realizadas assepsia local

com álcool 70% e punção venosa da veia jugular. Foram coletados dois tubos de vácuo siliconizados (5 mL) contendo fluoreto de sódio. As amostras foram imediatamente centrifugadas a 800 rpm por 10 min e armazenadas em alíquotas de 1,5 mL a -20 °C. O plasma foi utilizado para dosagem de glicose em espectrofotômetro de microplaca EON (Biotek Instruments Inc., Vermont, EUA) pelo método enzimático (Kovalent do Brasil Ltda., Rio de Janeiro, Brasil).

3.2.2.7 Procedimentos Estatísticos

Os dados foram analisados utilizando-se o software SAS (versão 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC) segundo delineamento inteiramente casualizado, em esquemas de medidas repetidas no tempo, segundo o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + \delta_{ij} + F_j + GF_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

onde Y_{ijk} é a variável resposta, μ é a constante geral, G_i é o efeito fixo de grupo de eficiência, δ_{ij} é o efeito aleatório de animal aninhado a tratamento, F_j é a medida repetida de nível de alimentação, GF_{ij} é a interação entre grupo de eficiência e nível de alimentação e ε_{ijk} é o erro aleatório entre medidas dentro de animais. As médias entre os grupos foram comparadas utilizando-se o teste F da ANOVA. Significância foi considerada com $P \leq 0,05$ e significância marginal quando $0,10 \geq P > 0,05$.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Consumo e digestibilidade aparente

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os fatores, oferta de alimentos e grupos de EA, AE CAR e BE CAR, para as variáveis relacionadas a consumo e digestibilidade aparente (Tabela 3). O consumo de MS, MO, PB, FDN, EE e CNF (kg/d) foram influenciados ($P <$

0,01) pela oferta de alimentos, uma vez que, a oferta alimentar foi restrita, resultou em resposta linear decrescente sobre o consumo. Os animais AE CAR apresentaram um consumo de MS inferior ($P = 0,04$) em comparação com o grupo BE CAR (3,03 *vs.* 3,62 kg/d, respectivamente). O grupo AE CAR também apresentou um consumo inferior ($P < 0,05$) da MO, PB e EE (kg/d). A digestibilidade da MS, MO, PB, FDN e CNF, foram influenciados ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos, uma vez que quando a oferta foi restrita, resultou em resposta linear crescente sobre a digestibilidade. Houve uma tendência de maior digestibilidade de MS e MO, ($P = 0,08$ e $P = 0,06$, respectivamente) para AE CAR em relação as novilhas de BE CAR.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os fatores, oferta de alimentos e grupos de EA, AE CGR e BE CGR, para as variáveis relacionadas a consumo e digestibilidade aparente (Tabela 4). O consumo de MS, MO, PB, FDN, EE e CNF (kg/d), foram influenciados ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos, uma vez que quando a oferta foi restrita, resultou em resposta linear decrescente sobre o consumo. A digestibilidade da MS, MO, PB, FDN e CNF, foram influenciados ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos, uma vez que quando a oferta foi restrita, resultou em resposta linear crescente sobre a digestibilidade.

Tabela 3. Consumo¹ e digestibilidade total com diferente oferta alimentar (*ad libitum* e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.

Tratamento	OA ²		EA ³		EPM ⁶	Valor <i>P</i> ⁷		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CAR ⁴	BE CAR ⁵		OA	EA	AO x EA
<i>Consumo</i>								
MS (kg/d) ⁸	3,97	2,68	3,03	3,62	0,26	<0,01	0,04	0,25
MO (kg/d) ⁹	3,68	2,52	2,82	3,38	0,24	<0,01	0,05	0,31
PB (kg/d) ¹⁰	0,55	0,39	0,43	0,52	0,03	<0,01	0,04	0,26
FDN (kg/d) ¹²	1,19	0,94	0,98	1,16	0,09	<0,01	0,07	0,57
EE (kg/d) ¹²	0,17	0,11	0,13	0,16	0,01	<0,01	0,03	0,41
CNF (kg/d) ¹³	1,78	1,07	1,29	1,55	0,15	<0,01	0,14	0,47
<i>Digestibilidade total</i>								
MS (g/kg)	720	741	739	722	7,18	<0,01	0,08	0,91
MO (g/kg)	736	762	757	741	6,55	<0,01	0,06	0,78
PB (g/kg)	713	746	736	727	9,80	<0,01	0,22	0,92
FDN (g/kg)	438	564	522	515	6,53	<0,01	0,21	0,64
EE (g/kg)	851	843	854	839	4,16	0,45	0,44	0,76
CNF (g/kg)	919	932	928	915	5,20	0,01	0,14	0,63

¹Os dados de consumo de matéria seca são restritos ao período de avaliação de 5 dias do ensaio de digestibilidade total no trato digestório.

²Oferta alimentar

³Eficiência alimentar

⁴Alta eficiência para consumo alimentar residual

⁵Baixa eficiência para consumo alimentar residual

⁶Erro padrão da média

⁷Diferença estatística

⁸Matéria seca

⁹Matéria orgânica

¹⁰Proteína bruta

¹¹Fibra detergente neutra

¹²Extrato etéreo

¹³Carboidratos não fibrosos

Tabela 4. Consumo¹ e digestibilidade total com diferente oferta alimentar (ad libitum e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.

Tratamento	OA ²		EA ³		EPM ⁶	Valor <i>P</i> ⁷		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CGR ⁴	BE CGR ⁵		OA	EA	AO x EA
<i>Consumo</i>								
MS (kg/d) ⁸	3,88	2,62	3,32	3,17	0,29	<0,01	0,61	0,41
MO (kg/d) ⁹	3,60	2,46	3,09	2,97	0,27	<0,01	0,66	0,51
PB (kg/d) ¹⁰	0,54	0,39	0,47	0,45	0,04	<0,01	0,68	0,43
FDN (kg/d) ¹²	1,18	0,92	1,06	1,03	0,10	<0,01	0,79	0,50
EE (kg/d) ¹²	0,17	0,11	0,14	0,14	0,01	<0,01	0,73	0,70
CNF (kg/d) ¹³	1,72	1,05	1,34	1,34	0,16	<0,01	0,63	0,72
<i>Digestibilidade total</i>								
MS (g/kg)	720	740	728	729	7,98	0,01	0,77	0,91
MO (g/kg)	736	760	748	747	7,42	0,01	0,93	0,93
PB (g/kg)	713	742	728	727	10,57	0,01	0,90	0,42
FDN (g/kg)	448	560	502	506	8,81	<0,01	0,90	0,93
EE (g/kg)	854	843	852	844	5,03	0,26	0,58	0,80
CNF (g/kg)	918	932	923	927	5,06	0,01	0,54	0,69

¹Os dados de consumo de matéria seca são restritos ao período de avaliação de 5 dias do ensaio de digestibilidade total no trato digestório.

²Oferta alimentar

³Eficiência alimentar

⁴Alta eficiência para consumo e ganho de peso residual

⁵Baixa eficiência para consumo e ganho de peso residual

⁶Erro padrão da média

⁷Diferença estatística

⁸Matéria seca

⁹Matéria orgânica

¹⁰Proteína bruta

¹¹Fibra detergente neutra

¹²Extrato etéreo

¹³Carboidratos não fibrosos

3.3.2 Partição de energia

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os fatores, oferta de alimentos e o grupo de EA para CAR, para as variáveis relacionadas ao consumo, saídas de energia e eficiência no uso de energia (% CEB), (Tabelas 5). Durante o ensaio de metabolismo, o consumo de EB, ED e EM (Mcal/d) foram influenciados ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos, uma vez que, a oferta restrita, resultou em resposta linear decrescente para o consumo de energia. As novilhas de AE CAR apresentaram consumo de EB (Mcal/d) mais baixo ($P = 0,05$) em relação as BE CAR. Os animais de AE CAR, apresentaram também tendência de menor consumo de ED e maior consumo de EM (Mcal/d; $P = 0,07$; $P = 0,06$, respectivamente).

As perdas de energia nas fezes, urinária, CH_4 entérico, produção de calor e balanço de energia expressas como Mcal/d e $\text{Mcal/d/PV}^{0,75}$, foram influenciadas ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos, a restrição da dieta consequentemente apresentou menores perdas energia dietética em relação a dieta *ad libitum*. As novilhas de AE CAR apresentaram menores ($P = 0,02$) perdas de energia fecal em relação ao grupo de BE CAR (3,58 vs. 4,57 Mcal/d, respectivamente). A produção de calor em proporção do ganho médio diário (Mcal/GMD) foi uma variável que não apresentou efeito ($P > 0,05$) ao nível de oferta da dieta e a classificação de EA.

A eficiência no uso de energia (% CEB) foi influenciada ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos, uma vez que, a oferta restrita, resultou em menor eficiência na energia fecal, urinária e balanço de energia. A influência da oferta de alimentos ($P < 0,01$) nas variáveis produção de calor, razão ED:EB e razão entre a energia metabolizável e a energia bruta (EM:EB), resultaram em resposta linear crescente quando submetidas ao consumo da dieta restrita. As novilhas do grupo de AE CAR perderam menos energia nas fezes ($P = 0,03$) do que as novilhas BE CAR. O grupo de AE CAR apresentou maior ($P = 0,03$) relação entre ED:EB do que animais de BE CAR (74,0 vs. 72,2% da EB, respectivamente). Animais de

AE CAR apresentaram uma tendência ($P = 0,07$) de maior relação entre energia a EM:EB em relação aos BE CAR. A energia do CH_4 (%CEB) e a relação EM:ED, são variáveis não influenciadas pelos níveis de alimentação e nem pela classificação dos grupos de AE e BE CAR.

Na Tabela 6, não houve interação ($P > 0,05$) entre os fatores, oferta de alimentos e o grupo de EA para CGR, para as variáveis relacionadas ao consumo, saídas de energia e eficiência no uso de energia (% CEB). As variáveis de consumo de EB, ED e EM (Mcal/d) foram influenciadas ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos independente do grupo de EA (AE e BE CGR), uma vez que, a oferta restrita, resultou em resposta linear decrescente para o consumo de energia. As variáveis de saída de energia: fecal, urinária, CH_4 , produção de calor e balanço de energia expressas como Mcal/d e $\text{Mcal/d/PC}^{0,75}$ foram influenciadas ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos, independente do grupo de eficiência alimentar. A variável produção de calor (Mcal/GMD) não sofreu efeito ($P > 0,05$) da oferta de alimentação e nem sobre os grupos de EA para CGR. Quando expresso em proporção ao CEB, a energia, fecal, urinária, produção de calor, balanço de energia e as relações ED:EB; EM:EB; EM:ED; foram influenciadas ($P < 0,05$) pela oferta de alimentos, independente do grupo de eficiência alimentar. O nível de oferta de alimentos e os grupos de EA para CGR não influenciam ($P > 0,05$) a energia em CH_4 (%CEB) das novilhas Gir.

Tabela 4. Partição energética com diferente oferta alimentar (ad libitum e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.

Item	OA ¹		EA ²		EPM ⁵	Valor <i>P</i> ⁶		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CAR ³	BE CAR ⁴		OA	EA	AO x EA
<i>Consumo de energia</i>								
Energia bruta (Mcal/d)	17,6	12,1	13,6	16,2	1,13	<0,01	0,05	0,27
Energia digestível (Mcal/d)	12,6	9,0	10,0	11,6	0,80	<0,01	0,07	0,38
Energia metabolizável (Mcal/d)	11,7	8,39	10,8	9,24	0,74	<0,01	0,06	0,27
<i>Saídas de energia</i>								
Energia fecal (Mcal/d)	5,02	3,13	3,58	4,57	0,35	<0,01	0,02	0,23
Energia urinária (Mcal /d)	0,05	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,25	0,09
Energia CH ₄ (Mcal/d)	0,94	0,61	0,75	0,81	0,08	<0,01	0,53	0,57
Produção de calor (kcal/d/PC ^{0,75})	134	118	128	129	5,39	0,03	0,65	0,86
Produção de calor (Mcal/d)	6,63	5,86	5,98	6,51	0,43	0,04	0,31	0,92
Produção de calor (Mcal/kg GPC)	27,9	26,3	28,5	25,7	5,73	0,40	0,72	0,80
Balanço de energia (Mcal/d)	5,02	2,53	3,26	4,29	0,51	<0,01	0,07	0,24
<i>Eficiência no uso de energia (% CEB)⁷</i>								
Energia fecal	28,2	25,7	26,0	27,9	0,70	0,01	0,03	0,85
Energia urinária	0,05	0,02	0,03	0,39	0,17	0,01	0,23	0,19
Energia CH ₄	5,37	5,05	5,38	5,05	0,33	0,34	0,40	0,17
Produção de calor	38,1	48,9	45,3	41,7	2,32	<0,01	0,16	0,81

Balanço de energia	29,6	24,3	25,4	25,5	5,46	0,01	0,14	0,14
ED:EB ⁸	0,71	0,74	74,0	72,2	0,77	0,01	0,03	0,85
EM:EB ⁹	0,66	0,69	68,6	67,0	0,70	<0,01	0,07	0,70
EM:ED ¹⁰	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,12	0,59	0,19

¹Oferta alimentar

²Eficiência alimentar

³Alta eficiência para consumo alimentar residual

⁴Baixa eficiência para consumo alimentar residual

⁵Erro padrão da média

⁶Diferença estatística

⁷Consumo de energia bruta

⁸Relação entre energia digestível e energia bruta

⁹Relação entre energia metabolizável e energia bruta

¹⁰Relação entre energia metabolizável e energia digestível

Tabela 6. Partição energética com diferente oferta alimentar (*ad libitum* e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.

Item	OA ¹		EA ²		EPM ⁵	Valor <i>P</i> ⁶		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CGR ³	BE CGR ⁴		OA	EA	AO x EA
<i>Consumo de energia</i>								
Energia bruta (Mcal/d)	17,2	11,9	14,8	14,2	1,27	<0,01	0,65	0,43
Energia digestível (Mcal/d)	12,3	8,78	10,8	10,3	0,87	<0,01	0,58	0,35
Energia metabolizável (Mcal/d)	11,4	8,18	10,0	9,53	0,83	<0,01	0,51	0,43
<i>Saídas de energia</i>								
Energia fecal (Mcal/d)	4,90	3,07	4,03	3,90	0,40	<0,01	0,81	0,72
Energia urinária (Mcal /d)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,87	0,47
Energia CH ₄ (Mcal/d)	0,94	0,60	0,78	0,76	0,08	<0,01	0,82	0,21
Produção de calor (kcal/d/PC ^{0,75})	136	119	126	129	5,67	0,01	0,62	0,19
Produção de calor (Mcal/d)	6,58	5,82	6,18	6,22	0,46	0,02	0,92	0,25
Produção de calor (Mcal/kg GPC)	26,9	25,5	24,8	27,7	6,14	0,37	0,65	0,55
Balanço de energia (Mcal/d)	4,78	2,36	3,83	3,30	0,56	<0,01	0,36	0,72
<i>Eficiência no uso de energia (% CEB)⁷</i>								
Energia fecal	28,2	25,8	26,8	27,1	0,80	0,01	0,73	0,93
Energia urinária	0,05	0,02	0,03	0,04	0,02	0,01	0,72	0,38
Energia CH ₄	5,50	5,10	5,18	5,42	0,35	0,19	0,50	0,28
Produção de calor	38,9	49,9	43,2	45,6	2,52	<0,01	0,35	0,19

Balanço de energia	29,3	23,4	26,5	26,2	1,87	0,01	0,87	0,35
ED:EB ⁸	0,71	0,74	73,2	72,9	0,79	0,01	0,73	0,93
EM:EB ⁹	0,66	0,69	67,9	67,4	0,78	0,01	0,51	0,56
EM:ED ¹⁰	0,92	0,93	0,93	0,93	0,02	0,05	0,44	0,51

¹Oferta alimentar

²Eficiência alimentar

³Alta eficiência para consumo e ganho residual

⁴Baixa eficiência para consumo e ganho residual

⁵Erro padrão da média

⁶Diferença estatística

⁷Consumo de energia bruta

⁸Relação entre energia digestível e energia bruta

⁹Relação entre energia metabolizável e energia bruta

¹⁰Relação entre energia metabolizável e energia digestível

3.3.3 Balanço de nitrogênio

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os fatores, oferta de alimentos e eficiência alimentar (CAR e CGR) para as variáveis relacionadas ao balanço de nitrogênio (Tabelas 7 e 8). As variáveis Nitrogênio (N) ingerido, N fecal, N absorvido e N urinário (g/d), juntamente com o N fecal e N urinário na (% do N ingerido) foram influenciadas ($P < 0,01$) pelo nível de alimentação, uma vez que, com a restrição da dieta resultou em resposta linear crescente em relação a dieta *ad libitum* (Tabelas 7 e 8). O N retido e N retido/N absorvido (g/d) e N retido (% do N ingerido), não sofreram influência ($P > 0,05$) entre os níveis de alimentação e nem entre os grupos de AE e BE (CAR e CGR).

Tabela 7. Partição de nitrogênio (N) com diferente oferta alimentar (*ad libitum* e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.

Tratamento	OA ¹		EA ²		EPM ⁵	Valor <i>P</i> ⁶		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CAR ³	BE CAR ⁴		OA	EA	AO x EA
Nitrogênio Ingerido (g/d)	61,0	90,1	69,8	75,3	6,20	<0,01	0,12	0,59
Nitrogênio Fecal (g/d)	16,0	26,3	19,1	23,6	2,09	<0,01	0,14	0,69
Nitrogênio Absorvido (g/d)	46,0	63,8	51,3	58,5	4,35	<0,01	0,15	0,58
Nitrogênio Urinário (g/d)	19,1	28,4	24,8	22,7	6,47	0,05	0,67	0,87
Nitrogênio Retido (g/d)	34,1	38,2	35,9	39,1	5,22	0,14	0,62	0,85
N Retido/N Absorvido ⁷	0,69	0,62	0,66	0,62	0,07	0,15	0,92	0,73
% Nitrogênio ingerido								
Nitrogênio Fecal	25,8	28,8	26,7	28,0	1,21	0,01	0,34	0,89
Nitrogênio Retido	0,51	0,45	0,48	0,48	0,05	0,10	0,78	0,93
Nitrogênio Urinário	23,3	32,0	25,6	27,8	6,50	0,01	0,53	0,89

¹Oferta alimentar

²Eficiência alimentar

³Alta eficiência para consumo alimentar residual

⁴Baixa eficiência para consumo alimentar residual

⁵Erro padrão da média

⁶Diferença estatística

⁷Relação entre nitrogênio retido e nitrogênio absorvido

Tabela 8. Partição de nitrogênio (N) com diferente oferta alimentar (ad libitum e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.

Tratamento	OA ¹		EA ²		EPM ⁵	Valor <i>P</i> ⁶		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CGR ³	BE CGR ⁴		OA	EA	AO x EA
Nitrogênio Ingerido (g/d)	60,7	89,9	74,6	76,1	6,60	<0,01	0,83	0,95
Nitrogênio Fecal (g/d)	16,2	26,5	21,1	21,6	2,22	<0,01	0,86	0,71
Nitrogênio Absorvido (g/d)	45,3	63,4	53,8	53,7	4,61	<0,01	0,82	0,75
Nitrogênio Urinário (g/d)	19,9	27,9	26,0	28,7	6,35	0,01	0,36	0,95
Nitrogênio Retido (g/d)	33,5	35,7	37,5	32,3	5,20	0,20	0,56	0,41
N Retido/N Absorvido ⁷	0,70	0,62	0,67	0,65	0,07	0,12	0,80	0,63
% Nitrogênio ingerido								
Nitrogênio Fecal	26,4	29,0	27,6	28,1	1,24	0,01	0,88	0,84
Nitrogênio Retido	0,51	0,45	0,48	0,48	0,05	0,11	0,98	0,73
Nitrogênio Urinário	24,6	34,3	28,9	31,4	6,64	0,01	0,87	0,17

¹Oferta alimentar

²Eficiência alimentar

³Alta eficiência para consumo e ganho residual

⁴Baixa eficiência para consumo e ganho residual

⁵Erro padrão da média

⁶Diferença estatística

⁷Relação entre nitrogênio retido e nitrogênio absorvido

3.3.4 Trocas respiratórias e emissão de metano entérico

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os fatores, oferta de alimentos e eficiência alimentar (CAR e CGR) para as variáveis relacionadas as trocas respiratórias e emissão de metano entérico (EME), (Tabelas 9 e 10).

O efeito linear decrescente foi verificado para o VO_2 (L/d) e rendimento de EME (g/kg/CMS), ($P = 0,03$; $P = 0,01$, respectivamente) em resposta a restrição da oferta de alimentos, independente da classificação de EA avaliada para CAR (Tabela 9). As variáveis VCO_2 (L/d), EME (g/d) e intensidade de EME (g/kg/GMD) não foram influenciadas ($P > 0,05$) pelo nível de oferta de alimentos e eficiência alimentar para CAR.

O efeito linear decrescente ($P = 0,05$), também foi verificado para a VO_2 (L/d) e EME (g/d) em resposta a restrição da oferta de alimentos, independente dos grupos de AE e BE CGR (Tabela 10). O efeito linear decrescente ($P = 0,01$) foi observado para o rendimento de EME (g/kg/CMS) com a oferta restrita da dieta. As variáveis VCO_2 (L/d) e intensidade de EME (g/kg/GMD) não foram influenciadas ($P > 0,05$) pelo nível de oferta de alimentos e EA para CGR.

Tabela 9. Consumo de oxigênio e emissões de dióxido de carbono e metano entérico com diferente oferta alimentar (*ad libitum* e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.

Tratamento	OA ¹		EA ²		EPM ⁵	Valor <i>P</i> ⁶		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CAR ³	BE CAR ⁴		OA	EA	AO x EA
<i>Trocas respiratórias</i>								
VO ₂ (L/d) ⁷	1373	1226	1286	1312	6,75	0,03	0,77	0,74
VCO ₂ (L/d) ⁸	1340	1223	1249	1314	8,08	0,25	0,55	0,77
<i>Emissão de metano entérico (EME)</i>								
EME (g/dia) ⁹	49,4	43,4	43,5	46,2	4,90	0,13	0,30	0,92
Rendimento da EME (g/kg/CMS) ¹⁰	16,7	13,9	15,0	15,5	1,16	0,01	0,68	0,80
Intensidade da EME (g/kg/GMD) ¹¹	255	226	209	217	7,38	0,32	0,39	0,23

¹Oferta alimentar

²Eficiência alimentar

³Alta eficiência para consumo alimentar residual

⁴Baixa eficiência para consumo alimentar residual

⁵Erro padrão da média

⁶Diferença estatística

⁷Volume de oxigênio

⁸Volume de dióxido de carbono

⁹Emissão de metano entérico (g metano/ animal dia)

¹⁰Rendimento da emissão do metano entérico (g de metano /kg de matéria seca consumida)

¹¹Intensidade da emissão do metano entérico (g de metano/kg de ganho médio diário)

Tabela 10. Consumo de oxigênio e emissões de dióxido de carbono e metano entérico com diferente oferta alimentar (*ad libitum* e restrito) em novilhas leiteiras classificadas em alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.

Tratamento	OA ¹		EA ²		EPM ⁵	Valor <i>P</i> ⁶		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CGR ³	BE CGR ⁴		OA	EA	AO x EA
<i>Trocas respiratórias</i>								
VO ₂ (L/d) ⁷	1366	1229	1284	1312	8,83	0,05	0,72	0,21
VCO ₂ (L/d) ⁸	1322	1210	1253	1300	9,94	0,22	0,79	0,66
<i>Emissão de metano entérico (EME)</i>								
EME (g/dia) ⁹	49,9	42,7	43,8	48,8	5,18	0,05	0,30	0,91
Rendimento da EME (g/kg/CMS) ¹⁰	16,8	14,3	14,7	16,4	1,25	0,01	0,20	0,84
Intensidade da EME (g/kg/GMD) ¹¹	210	198	206	226	9,46	0,33	0,91	0,68

¹Oferta alimentar

²Eficiência alimentar

³Alta eficiência para consumo e ganho residual

⁴Baixa eficiência para consumo e ganho residual

⁵Erro padrão da média

⁶Diferença estatística

⁷Volume de oxigênio

⁸Volume de dióxido de carbono

⁹Emissão de metano entérico (g metano/ animal dia)

¹⁰Rendimento da emissão do metano entérico (g de metano /kg de matéria seca consumida)

¹¹Intensidade da emissão do metano entérico (g de metano/kg de ganho médio diário)

3.3.5 Glicose sanguínea

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os fatores, oferta de alimentos e EA (CAR e CGR) para a variável glicose sanguínea (Tabelas 11 e 12). O efeito linear decrescente foi observado em resposta a restrição da oferta de alimentos ($P = 0,01$).

Tabela 11. Concentrações de glicose sanguínea (mmol/L) com diferente oferta alimentar (*ad libitum* e restrito) em novilhas Gir classificadas como alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CAR.

Tratamento	OA ¹		EA ²		EPM ⁵	Valor P^6		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CAR ³	BE CAR ⁴		OA	EA	AO x EA
Glicose	4,10	3,75	4,12	4,02	4,56	0,01	0,18	0,56

¹Oferta alimentar

²Eficiência alimentar

³Alta eficiência para consumo alimentar residual

⁴Baixa eficiência para consumo alimentar residual

⁵Erro padrão da média

⁶Diferença estatística

Tabela 12. Concentrações de glicose sanguínea (mmol/L) com diferente oferta alimento (*ad libitum* e restrito 1,2% PV) em novilhas Gir classificadas como alta (AE) e baixa eficiência (BE) alimentar para CGR.

Tratamento	OA ¹		EA ²		EPM ⁵	Valor P^6		
	<i>Ad libitum</i>	Restrito	AE CGR ³	BE CGR ⁴		OA	EA	AO x EA
Glicose	4,05	3,85	4,10	4,03	4,56	0,01	0,52	0,63

¹Oferta alimentar

²Eficiência alimentar

³Alta eficiência para consumo e ganho residual

⁴Baixa eficiência para consumo e ganho residual

⁵Erro padrão da média

⁶Diferença estatística

3.4 DISCUSSÃO

Trinta e sete novilhas foram categorizadas nos grupos AE ou BE para verificar as diferenças no metabolismo energético e de N entre os animais divergentes para os índices de EA (CAR e CGR) com oferta alimentar (*ad libitum* e restrito). Ensaio de digestibilidade total no trato digestório foi conduzido, bem como foram avaliadas as trocas gasosas em câmaras respiratórias de circuito aberto para comparar variáveis metabólicas relacionadas ao uso de energia e proteína da dieta entre grupos divergentes de EA.

3.4.1 Consumo e digestibilidade aparente

Em nosso estudo o CMS foi uma variável que diferiu entre os grupos de AE e BE CAR, pois os animais considerados mais eficientes para CAR, são aqueles com menor consumo residual. O CMS pode estar relacionado ao tamanho, peso e capacidade do trato digestório, sendo maior em animais maiores e mais pesados (Herd et al., 2004).

Um estudo que avaliou bovinos para CAR sugeriram que há diferenças entre os grupos AE e BE, que podem estar relacionadas a diferenças na regulação central do consumo (Perkins et al., 2014). Os fatores relacionados ao CAR mostraram que as diferenças no comportamento de consumo explicam parte das diferenças, mas os fatores que afetam as diferenças no comportamento alimentar ainda não são totalmente compreendidos (Cantalapiedra-Hijar et al., 2018). No presente estudo, variáveis de comportamento alimentar não foram mensuradas e provavelmente seu impacto seria reduzido, pois os animais permaneceram alojados em baias individuais.

A EA pode ser definida como a fração da energia proveniente da alimentação que é transformada em produto (VandeHaar et al., 2016). Os animais classificados como mais eficientes tipicamente apresentam menor consumo de dieta, portanto, menor gasto de energia pelo trato gastrointestinal (incremento calórico), com consequente

menor exigência de energia. Como não teve interação de oferta alimentar e eficiência alimentar (CAR e CGR), pode-se supor que as novilhas Gir consideradas de baixa eficiência, além de um maior consumo da dieta, apresentam um TGI com maior gasto energético (ingestão, digestão e metabolismo). Assim, uma previsão precisa do consumo alimentar torna-se essencial para otimizar o uso de nutrientes da dieta e o desempenho produtivo, econômico e ambiental dos sistemas de produção leiteira (Souza et al., 2014).

A digestibilidade da MS, MO, PB, FDN e CNF, foram influenciados ($P < 0,01$) pela oferta de alimentos, uma vez que quando a oferta foi restrita, resultou em resposta linear crescente sobre a digestibilidade. Menor oferta obteve uma maior retenção alimentar, com melhor aproveitamento dos nutrientes.

Em nosso estudo, os animais mais eficientes para CAR apresentaram uma tendência de maior digestibilidade de MS e MO ($P = 0,08$ e $P = 0,06$, respectivamente). Isso sugere que a maior digestibilidade da dieta, pode estar relacionada a maior parte da energia nestes compostos ser retida por microrganismos ruminais e utilizada para o crescimento. A variação na digestibilidade dos alimentos explica em torno de 10% a variação na divergência do CAR (Hegarty, 2007). Bezerras Gir AE CAR no pré-desmame, apresentaram diferenças na digestibilidade da dieta (Lage et al., 2019).

No estudo de Fischer et al. (2018a), o grupo de maior eficiência alimentar para CAR, apresentou maior digestibilidade da MS da dieta. Estudos anteriores com vacas leiteiras em lactação conduzidos por VandeHaar et al. (2016) e Potts et al. (2017) sugerem que animais classificados como AE CAR também apresentaram maior digestibilidade. Lage et al. (2019), avaliando bezerras Gir, também encontraram uma tendência de maior digestibilidade de MS e MO para bezerras de AE CAR. No entanto,

além da variação sistemática devido à quantidade de alimentos consumidos, também há variação genética na digestão do trato total dos alimentos (Arthur e Herd, 2008).

No presente estudo a digestibilidade dos componentes da dieta não apresentaram diferenças significativas entre os grupos AE e BE CGR. A falta de efeito no presente estudo sugere que a digestibilidade ruminal tem menor poder para explicar a divergência para CGR. Igualmente ao nosso estudo, não foram identificadas diferenças na digestibilidade da MS, MO, PB e FDN para bezerras Gir de AE e BE para CGR (Lage et al., 2019).

Nossos resultados sugerem que a diferença na EA em novilhas Gir pode estar associada a eficiência energética individual de cada animal e não da oferta alimentar (*ad libitum* e restrito) em que o maior consumo de dieta pelo grupo menos eficiente promove maior gasto de energia pelo TGI para metabolização (maior incremento calórico em estado *ad libitum*), além de um maior custo de dieta.

3.4.2 Partição de energia

A eficiência de um animal na conversão de alimentos é influenciada por fatores genéticos, fisiológicos e ambientais, que resultam em variação individual no gasto de energia (DiGiacomo et al., 2018).

Em nosso estudo, na oferta restrita o consumo de EB, ED e EM (Mcal/d), resultou em um consumo mais baixo de energia em relação a dieta *ad libitum*, o que já era esperado. O consumo de EB foi influenciado pela EA, novilhas de AE CAR apresentam um consumo de EB mais baixo. Correlações positivas também foram observadas por Lage et al. (2019) entre CAR e CEB ($r = 0,50$), indicando que altos valores de CAR (BE) estão correlacionados com maior CEB, e de maneira oposta, animais AE CAR apresentam menor CEB. Mesmo com consumo mais baixo de EB, as novilhas do grupo de AE CAR apresentaram uma tendência de menor consumo de ED,

porém maior consumo da EM, isto é, converteram a EB da dieta de forma mais eficiente, o que indica maior eficiência de energia para crescimento. Então diferenças na EA podem estar associadas as eficiências uso de EM para crescimento e não para diferenças em níveis dietéticos.

Em nosso estudo, a produção de calor (Mcal/GMD) foi uma variável que não diferiu aos níveis de dieta e nem na classificação de EA (CAR e CGR). A produção de calor representa custo elevado de energia em vacas leiteiras (Morris et al., 2020) e é determinada principalmente pelos requisitos de manutenção e pelo incremento de calor da produção (Brosh, 2007). Na pesquisa com as novilhas H x G mais eficientes para CAR apresentaram menor PC (Kcal/d por $PC^{0,75}$) (Silva et al., 2020), Leão et al. (2018) avaliando a PC em bezerras leiteiras H x G, relataram que a PC foi menor para animais AE CAR, e os animais BE CAR perderam 15,3% mais energia na forma de PC (Kcal/d). Em outro estudo, Nkrumah et al. (2006) observaram também 21% menor PC para bovinos AE CAR.

Como esperávamos as perdas de energia nas fezes, urinária, CH_4 entérico, produção de calor e balanço de energia expressas como Mcal/d e $Mcal/d/PC^{0,75}$, foram influenciadas, pela oferta de alimentos, a restrição da dieta consequentemente apresentou uma menor energia dietética em relação a dieta *ad libitum*. Quando avaliamos as perdas (%EB), foi observado que o grupo de AE CAR perdeu menos energia nas fezes e apresentou maior relação entre ED:EB e uma tendência de maior relação entre EM:EB, do que novilhas BE CAR. Em geral, os animais BE CAR têm maiores perdas de energia fecal, devido à menor digestibilidade observada para esse grupo. Corroborando ao nosso estudo, Lage et al. (2019) observaram que animais AE CAR tenderam a ter maior ED:EB (%). O aumento da excreção fecal de nutrientes, aumenta a contaminação ambiental por unidade de CMS (Asher et al., 2014). Assim, os

animais mais eficientes e com maior retenção de ED, contribuem com uma menor excreção desses compostos no ambiente.

Medir a variabilidade entre os animais em cada etapa do metabolismo energético pode fornecer a base para esforços futuros para aumentar a EA. Alguns estudos, tentando entender a divergência na eficiência alimentar, relatam que a maior variação entre os animais está relacionada a variação no gasto de energia (Paddock, 2010; VandeHaar et al., 2016). Em nosso estudo as perdas de energia nas fezes, urinária, CH₄ entérico, produção de calor e balanço de energia expressas como Mcal/d e Mcal/d/PC^{0,75}, foram influenciadas pela oferta de alimentos, a restrição da dieta consequentemente apresentou uma menor energia dietética em relação a dieta *ad libitum*, porém, não alterou os grupos de EA para CGR. Como a variação animal está possivelmente sob controle genético, a seleção de animais que direcionam menos energia para fezes, CH₄, urina, manutenção e PC, pode aumentar a proporção de energia disponível para a produção de leite e melhorar a EA (Guinguina et al., 2020).

Estudos anteriores relataram variação considerável entre animais na EA (Coleman et al., 2010; Arndt et al., 2015). Esta variação está principalmente ligada a diferenças nas perdas de energia da dieta (fecal, CH₄ e urinária), na produção de calor e retenção de energia, pois vacas classificadas como AE CAR provavelmente digerem e metabolizam nutrientes de forma mais eficiente (VandeHaar et al., 2016). Porém, em estudo anterior com estas bezerras Gir em idade mais precoce, não foram observadas diferenças nas perdas energéticas na urina e nas emissões de CH₄ entérico entre as bezerras Gir classificadas em AE e BE CAR (Lage et al., 2019).

As variáveis de consumo de EB, ED e EM e de saída de energia fecal, urinária, CH₄, produção de calor e balanço de energia expressas como Mcal/d e Mcal/d/PC^{0,75}, resultaram em resposta linear decrescente para a oferta de alimento restrita,

independente do grupo de EA para CGR. Lage et al. (2019) encontraram para animais AE CGR, maiores perdas de metano entérico (%EB) porém não encontraram diferenças nas perdas de energia pelas fezes, urina e PC (%EB) entre animais AE e BE CGR.

Quando expresso em proporção ao CEB, a eficiência no uso da energia, fecal, urinária e balanço de energia foi menor na oferta em restrição. A produção de calor, e as relações ED:EB; EM:EB; EM:ED; apresentaram valores mais altos, independente do grupo de EA para CGR. Isso nos indica que as novilhas avaliadas mesmo com CEB mais baixo, quando em restrição alimentar conseguem reter a EM de forma mais eficiente. A categorização dos animais para EA usando o CGR não apresentou vantagens em relação ao CAR na partição de energia, porém seu uso deve ser mais bem avaliado em trabalhos sobre EA.

A variável eficiência no uso de energia (%CEB) como energia de CH₄, parecem não ser influenciadas ao nível de alimentação (*ad libitum* e restrito) e nem ser variáveis que possam contribuir para as diferenças nas classificações de EA para CAR e CGR. Em nosso estudo, encontramos caminhos que geralmente estão relacionados variações na eficiência de conversão de energia (por causa das diferenças na digestibilidade, partição de energia, absorção de nutrientes e excreção de resíduos) entre os grupos AE e BE (CAR), que deve ser levado em consideração em pesquisas futuras e programas de seleção de animais.

3.4.3 Balanço de nitrogênio

O metabolismo do nitrogênio em ruminantes é um processo complexo por causa da extensa degradação e modificação de proteínas no retículo-rúmen, e sua capacidade de converter o N da dieta em proteína microbiana (Hristov et al., 2011). Quando as novilhas Gir estavam na dieta restrita as concentrações das variáveis N ingerido e N absorvido foram superiores em relação a dieta *ad libitum* (Tabela 7 e 8). Com essa

maior ingestão e absorção de N, a dieta restrita proporcionou uma excreção também superior de N fecal e N urinário em relação a dieta *ad libitum*. Quando em dieta *ad libitum* as novilhas apresentaram menores perdas de N que podem ser explicadas por uma melhor utilização de N no rúmen (isto é, menor degradação da proteína ruminal ou melhoria na captura de amônia pela microbiota ruminal), limitando assim a excreção de nitrogênio para o meio ambiente.

Melhor eficiência do uso de nitrogênio para AE era esperada, mas não foram observadas diferenças importantes entre os grupos divergentes de EA sobre o saldo de N. No estudo com novilhas H x G (Silva et al., 2020), também não encontraram melhor eficiência do uso de nitrogênio para AE CAR, porém para AE para ganho de peso residual (GR) apresentaram tendência por perder menos nitrogênio na urina, em comparação com as novilhas BE, provavelmente devido à maior taxa de crescimento e a possíveis alterações na composição química (gordura e proteína) dos tecidos.

Parece que o N retido e N retido/N absorvido (g/d) não são influenciáveis aos níveis de dieta e nem as classificações de EA (CAR e CGR). Van Soest (1994) relatou que a perda energética via urina é relativamente constante e pode variar de 3 a 5% da EB ingerida, não afetando significativamente o balanço energético.

3.4.4 Trocas respiratórias e emissão de metano entérico

Em nosso estudo, as novilhas Gir apresentaram uma redução do VO_2 (L/d), EME (g/d) e do rendimento de EME (g/kg/CMS) quando submetidas a restrição alimentar, comparando com o consumo *ad libitum*. Isso já era esperado, pois a EME está associada a diferenças no CMS (Flay et al., 2019), já que existe forte correlação entre EME e CMS ($r = 0,99$), como observado por Pickering et al. (2015) em experimento realizada com vacas da raça Holandês. O aumento da ingestão de alimentos leva ao aumento da produção de CH_4 devido ao maior aporte de substratos

para a fermentação ruminal e consequente aumento no fornecimento de hidrogênio para a metanogênese (Hegarty et al., 2007).

Em nosso estudo, a categorização dos grupos de EA (CAR e CGR) não afetou a EME, mesmo apresentando diferenças para AE CAR no consumo (MS, MO, PB, EE e EB) e uma tendência na digestibilidade (MS e MO). A menor EME nem sempre é observada em animais AE CAR, pois frequentemente eles têm maior digestibilidade do trato total de MS, o que implica em uma maior quantidade de substrato disponível para fermentação e metanogênese por unidade de alimentação (Beauchemin et al., 2009; Bonilha et al., 2017). A redução do nível de alimentação geralmente aumenta o tempo médio de retenção da digesta no rúmen (Sauvant e Nozière, 2016), o que pode aumentar a EME.

Concordando com o nosso estudo, dados experimentais sugerem que não há diferença na produção diária de CH₄ entérico entre vacas eficientes e ineficientes (Olijhoek et al., 2018; Fischer et al., 2020), novilhas leiteiras (Flay et al., 2019) e novilhas de corte (McDonnell et al., 2016). Estudos com bezerras Gir no pré-desmame, usando a mesma metodologia de CR de circuito aberto, também não apresentaram diferenças nas trocas gasosas (VO₂, VCO₂ e VCH₄) entre os grupos AE e BE para CAR e CGR (Lage et al., 2019). McDonnell et al. (2016) também observaram que a EME g/d e g/kg PC^{0,75} não diferiram entre os grupos divergentes para CAR. Porém, nosso estudo com novilhas Gir, divergiu do ensaio anterior com novilhas Holandês x Gir, onde o grupo de AE para CAR, consumiu menos O₂ e consequentemente produziu menos CO₂ e CH₄ entérico (Silva et al., 2020).

A EME representa uma perda energética relevante para os ruminantes (Guinguina et al., 2020), e sua redução poderia resultar em um saldo maior de energia para a produção (Judy et al., 2019). Estudos sugerem que a emissão de CH₄ é um

desperdício significativo de energia alimentar, compreendendo 2,7 a 9,8% do consumo de EB em gado leiteiro (Niu et al., 2018). Melhor digestibilidade e uma menor produção de CH₄ foram responsáveis por 83 e 12% do aumento do consumo de EM, respectivamente (Guinguina et al., 2020). Outros autores observaram menor EME para bovinos mais eficientes (Nkrumah et al., 2006; Hegarty et al., 2007; de Haas et al., 2011; Basarab et al., 2013; Fitzsimons et al., 2013). Existe consenso na literatura que as estratégias de mitigação da EME devam envolver a seleção de animais mais eficientes quanto à utilização da energia dietética, assim como o aumento da produtividade, o que resulta em menores intensidades de EME por unidade de produto final.

3.4.5 Glicose Sanguínea

Vários estudos já foram conduzidos avaliando parâmetros sanguíneos para compreender as diferenças e identificar potenciais marcadores fisiológicos para EA (Nkrumah et al., 2007; Kelly et al., 2010). Em nosso estudo as concentrações de glicose não diferiram estatisticamente entre os grupos de AE e BE para CAR e CGR. Este resultado difere um pouco do estudo de Lage et al. (2020) avaliando bezerras Gir, o qual não encontrou diferenças na concentração de glicose para CAR mas, no entanto, encontrou tendência de maior concentração de glicose no sangue para o grupo BE CGR em comparação com o grupo AE CGR.

Nosso estudo corroborou com Xi et al. (2016) que também não encontraram nenhuma diferença nas concentrações de glicose, em vacas em lactação divergentes para EA. Os mesmos autores relataram que há divergências na literatura científica a respeito de metabólitos em diferentes fases produtivas do animal e, portanto, não recomendam sua utilização para inferir sobre divergências fenotípicas no CAR.

Entre os níveis diferentes de oferta alimentar, verificou-se que mesmo com valores menores na restrição alimentar, os valores de glicemia mantiveram-se dentro

dos valores de referência. Os valores de referência dos teores plasmáticos de glicemia em bovinos são 2,5 a 4,1 mmol/L, segundo Kaneko et al. (2008), 2,0 a 3,0 mmol/L segundo Payne e Payne (1987), determinados em vacas leiteiras e de corte, e os valores de Rosenberger (1993) estão entre 2,4 a 4,1 mmol/L. Isto demonstra a eficiência dos mecanismos de compensação das novilhas para manter as concentrações plasmáticas de glicose dentro dos valores de normalidade, ou seja, manter a homeostase energética.

Quando em restrição alimentar, o metabolismo animal passa por alterações de curto prazo que mobilizam nutrientes armazenados para manter a disponibilidade de substratos energéticos para tecidos metabolicamente ativos. Estas alterações visam manter as concentrações plasmáticas de glicose numa faixa aceitável, para que o cérebro tenha quantidades adequadas de substrato. Quando em estado *ad libitum*, devido ao fluxo abundante de nutrientes, há predomínio dos processos anabólicos sobre os catabólicos. Porém, na ausência ou redução de consumo alimentar, o catabolismo prevalece sobre o anabolismo. Deste modo, os animais desenvolvem a capacidade de adaptar o seu metabolismo, no sentido de resolver o problema da escassez de substratos.

Herdt (2000) considera que a glicose plasmática não é uma boa variável para o status energético, já que está sujeita a uma estreita regulação homeostática, à insensibilidade da glicemia a mudanças nutricionais e à sua sensibilidade ao estresse. Russel e Wright (1983) avaliando diversos metabólitos para monitoramento do status energético, concluíram que a glicose é um bom indicador quando a carência energética é severa. Durante o déficit energético temporário ou prolongado existe uma tendência para menor formação de glicose, o que pode acarretar em hipoglicemia (Bergman, 1973), e o organismo passa a entender que há necessidade de mobilizar reservas corporais (Fernandes et al., 2012).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes planos nutricionais impostos influenciaram as variáveis de consumo, digestibilidade, partição de energia, EME e balanço de nitrogênio. Os níveis de oferta da dieta *ad libitum* e restrito, parecer não ser um fator decisório na investigação dos grupos de alta e baixa EA (CAR e CGR). Novilhas Gir classificadas AE CAR apresentaram um menor consumo de MS, MO, PB e EE (kg/d), tendência de melhor digestibilidade de MS e MO, maior consumo de EB (Mcal/d), menor perda de energia fecal (%CEB), maior relação de ED:EB e tendência de maior relação da EM:EB. Apesar da maior ingestão de energia e nitrogênio pelos animais de BE CAR, os animais de AE CAR tiveram a mesma retenção de energia e nitrogênio. Novilhas BE não apresentam maior EME em relação ao grupo de AE. O uso do CGR não demonstrou vantagens em relação ao CAR, não apresentando diferenças no metabolismo energético, dado que o GMD foi o mesmo para os animais. Portanto, as diferenças na EA para novilhas Gir, podem estar associadas as eficiências uso de energia para crescimento.

3.5.1 Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Leite, Minas Gerais, Brasil), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasília, Brasil), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Belo Horizonte, Brasil), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT – CA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Paraná (UFPR, Curitiba, Brasil), por apoiarem e financiarem esse projeto.

REFERÊNCIAS

Arndt, C., J.M. Powell, M.J. Aguerre, and M.A. Wattiaux. 2015b. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. **J. Dairy Sci.** 98:418–430. doi:10.3168/jds.2014-8298.

Arthur, J.P.F., and R.M. Herd. 2008. Residual feed intake in beef cattle. **Rev. Bras. Zootec.** doi:10.1590/S1516-35982008001300031.

de Assis Lage, C.F., S.G. Coelho, H. do C. Diniz Neto, V.M. Rocha Malacco, J.P. Pacheco Rodrigues, J.P. Sacramento, F.S. Machado, L.G. Ribeiro Pereira, T.R. Tomich, and M.M. Campos. 2019. Relationship between feed efficiency indexes and performance, body measurements, digestibility, energy partitioning, and nitrogen partitioning in pre-weaning dairy heifers. **PLoS One.** doi:10.1371/journal.pone.0223368.

Basarab, J.A., D. McCartney, E.K. Okine, and V.S. Baron. 2007. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. Can. **J. Anim. Sci.** 87:489–502. doi:10.4141/CJAS07026.

Beauchemin, K.A., T.A. McAllister, and S.M. McGinn. 2009. Dietary mitigation of enteric methane from cattle. CAB Rev. Perspect. Agric. **Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.** doi:10.1079/PAVSNNR20094035.

Berry, D.P., and J.J. Crowley. 2012. Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas.2011-4245.

Bergman, E.N. 1973. Glucose metabolism in ruminants as related to hypoglycemia and ketosis. Cornell vet.

Bonilha, S.F.M., R.H. Branco, M.E.Z. Mercadante, J.N. dos Santos Gonçalves Cyrillo, F.M. Monteiro, and E.G. Ribeiro. 2017. Digestion and metabolism of low and high residual feed intake Nellore bulls. Trop. **Anim. Health Prod.** doi:10.1007/s11250-017-1224-9.

Britt, J.H., R.A. Cushman, C.D. Dechow, H. Dobson, P. Humblot, M.F. Hutjens, G.A.

Jones, P.S. Ruegg, I.M. Sheldon, and J.S. Stevenson. 2018. Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2017-14025.

Brosh, A. 2007. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas.2006-298.

Cabral da Silva, D., L.G. Ribeiro Pereira, J.A. Mello Lima, F.S. Machado, A.L. Ferreira, T.R. Tomich, S.G. Coelho, R.M. Maurício, and M.M. Campos. 2020. Grouping crossbred Holstein x Gyr heifers according to different feed efficiency indexes and its effects on energy and nitrogen partitioning, blood metabolic variables and gas exchanges. **PLoS One**. doi:10.1371/journal.pone.0238419.

Cantalapiedra-Hijar, G., M. Abo-Ismael, G.E. Carstens, L.L. Guan, R. Hegarty, D.A. Kenny, M. Mcgee, G. Plastow, A. Relling, and I. Ortigues-Marty. 2018. Review: Biological determinants of between-animal variation in feed efficiency of growing beef cattle. **Animal**. doi:10.1017/S1751731118001489.

Coleman, J., D. P. Berry, K. M. Pierce, A. Brennan, and B. Horan. 2010. Dry matter intake and feed efficiency profiles of 3 genotypes of Holstein-Friesian within pasture-based systems of milk production. *J. Dairy Sci.* 93:4318–4331. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2686>.

DiGiacomo K., E. Morris, F.R. Dunshea, B.J. Hayes, L.C. Marett, W.J. Wales, and B.J. Leury. 2017. Responses of dairy cows with divergent residual feed intake as calves to metabolic challenges during midlactation and the nonlactating period. **J. Dairy Sci.** 101:1–12. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12569>

Erickson, P.S., and K.F. Kalscheur. 2019. Nutrition and feeding of dairy cattle.

Flay, H.E., B. Kuhn-Sherlock, K.A. Macdonald, M. Camara, N. Lopez-Villalobos, D.J. Donaghy, and J.R. Roche. 2019. Hot topic: Selecting cattle for low residual feed intake did not affect daily methane production but increased methane yield. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2018-15234.

Fernandes, S.R., J.A. de Freitas, D.F. de Souza, L.H. Kowalski, R.L. Dittrich, P. Rossi Junior, and C.J.A. da Silva. 2012. Serum lipid profile in the assessment of energy

metabolism in ruminants.. Lipidograma como Ferram. na Aval. do Metab. Energ. em ruminantes.

Fitzsimons, C., D.A. Kenny, M.H. Deighton, A.G. Fahey, and M. McGee. 2013. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. **J. Anim. Sci.** 91:5789–5800. doi:10.2527/jas2013-6956.

Fischer, A., R. Delagarde, and P. Faverdin. 2018. Identification of biological traits associated with differences in residual energy intake among lactating Holstein cows. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2017-12636

Gabler, M., M. Hensel, and L. Fischer. 2000. Detection and substrate selectivity of new microbial D-amino acid oxidases. *Enzyme Microb. Technol.* doi:10.1016/S0141-0229(00)00262-3.

Guinguina, A., T. Yan, A.R. Bayat, P. Lund, and P. Huhtanen. 2020a. The effects of energy metabolism variables on feed efficiency in respiration chamber studies with lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2020-18259.

Guinguina, A., T. Yan, P. Lund, A.R. Bayat, A.L.F. Hellwing, and P. Huhtanen. 2020b. Between-cow variation in the components of feed efficiency. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2020-18257.

Herd, R.M., V.H. Oddy, and E.C. Richardson. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agric.* 44:423–430. doi:10.1071/ea02220.

Hegarty, R.S., J.P. Goopy, R.M. Herd, and B. McCorkell. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **J. Anim. Sci.** 85:1479–1486. doi:10.2527/jas.2006-236.

Hristov, A.N., M. Hanigan, A. Cole, R. Todd, T.A. McAllister, P.M. Ndegwa, and A. Rotz. 2011. Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Can. J. Anim. Sci.* doi:10.4141/CJAS10034.

Hristov, A.N., J. Oh, F. Giallongo, T.W. Frederick, M.T. Harper, H.L. Weeks, A.F. Branco, P.J. Moate, M.H. Deighton, S.R.O. Williams, M. Kindermann, and S. Duval.

2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* doi:10.1073/pnas.1504124112.

Kelly, A.K., M. McGee, D.H. Crews, A.G. Fahey, A.R. Wylie, and D.A. Kenny. 2010a. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *J. Anim. Sci.* 88:109–123. doi:10.2527/jas.2009-2196.xi

Koch, R.M., L.A. Swiger, D. Chambers, and K.E. Gregory. 1963. Efficiency of Feed Use in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* doi:10.2527/jas1963.222486x.

Lage, C.F.A., S.G. Coelho, H.C. Diniz Neto, V.M.R. Malacco, J.P.P. Rodrigues, J.P. Sacramento, V.A. Teixeira, F.S. Machado, L.G.R. Pereira, T.R. Tomich, and M.M. Campos. 2020. Relationship between feed efficiency indexes and thermography, blood, and ruminal parameters in pre-weaning dairy heifers. *PLoS One*. doi:10.1371/journal.pone.0236118.

Leão, J.M., S.G. Coelho, F.S. Machado, R.A. Azevedo, J.A.M. Lima, J.C. Carneiro, C.F.A. Lage, A.L. Ferreira, L.G.R. Pereira, T.R. Tomich, and M.M. Campos. 2018. Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography. *J. Dairy Sci.* doi:10.3168/jds.2017-14109.

Macdonald, K.A., J.E. Pryce, R.J. Spelman, S.R. Davis, W.J. Wales, G.C. Waghorn, Y.J. Williams, L.C. Marett, and B.J. Hayes. 2014. Holstein-Friesian calves selected for divergence in residual feed intake during growth exhibited significant but reduced residual feed intake divergence in their first lactation. *J. Dairy Sci.* 97:1427–1435. doi:10.3168/jds.2013-7227.

Machado, F.S., T.R. Tomich, A.L. Ferreira, L.F.L. Cavalcanti, M.M. Campos, C.A.V. Paiva, M.N. Ribas, and L.G.R. Pereira. 2016. Technical note: A facility for respiration measurements in cattle. *J. Dairy Sci.* 99:4899–4906. doi:10.3168/jds.2015-10298.

Manafiazar, G.; Basarab, J. A.; Baron, V. S.; Mckeown, L.; Doce, R. R.; Swift, M.; Ominski, K. Effect of post-weaning residual feed intake classification on grazed grass intake and performance in pregnant beef heifers. *Canadian Journal of Animal Science*,

Ottawa, v. 95, n .3, p. 369-381, 2015.

Niu, M., E. Kebreab, A.N. Hristov, J. Oh, C. Arndt, A. Bannink, A.R. Bayat, A.F. Brito, T. Boland, D. Casper, L.A. Crompton, J. Dijkstra, M.A. Eugène, P.C. Garnsworthy, M.N. Haque, A.L.F. Hellwing, P. Huhtanen, M. Kreuzer, B. Kuhla, P. Lund, J. Madsen, C. Martin, S.C. McClelland, M. McGee, P.J. Moate, S. Muetzel, C. Muñoz, P. O’Kiely, N. Peiren, C.K. Reynolds, A. Schwarm, K.J. Shingfield, T.M. Storlien, M.R. Weisbjerg, D.R. Yáñez-Ruiz, and Z. Yu. 2018. Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. **Glob. Chang. Biol.** doi:10.1111/gcb.14094.

Nkrumah, J.D., E.K. Okine, G.W. Mathison, K. Schmid, C. Li, J.A. Basarab, M.A. Price, Z. Wang, and S.S. Moore. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **J. Anim. Sci.** 84:145–153. doi:10.2527/2006.841145x.

Olijhoek, D.W., G.F. Difford, P. Lund, and P. Løvendahl. 2020. Phenotypic modeling of residual feed intake using physical activity and methane production as energy sinks. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2019-17489.

Payne, J.M. 1978. The Compton metabolic profile test. BSAP Occas. Publ. doi:10.1017/s0263967x00000033.

Perkins, S.D., C.N. Key, C.F. Garrett, C.D. Foradori, C.L. Bratcher, L.A. Kriese-Anderson, and T.D. Brandebourg. 2014. Residual feed intake studies in Angus-sired cattle reveal a potential role for hypothalamic gene expression in regulating feed efficiency. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas.2013-7019.

Pickering, N. K., V. H. Oddy, J. A. Basarab, K. Cammack, B. J. Hayes, R. S. Hegarty, J. C. McEwan, S. Miller, C. Pinares, and Y. De Haas. 2015. Invited review: Genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants. *Animal* 9:1431–1440. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000968>.

Potts, S.B., J.P. Boerman, A.L. Lock, M.S. Allen, and M.J. VandeHaar. 2017. Relationship between residual feed intake and digestibility for lactating Holstein cows fed high and low starch diets. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2016-11079.

Pryce, J.E., W.J. Wales, Y. de Haas, R.F. Veerkamp, and B.J. Hayes. 2014. Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle.. **Animal** 8:1–10. doi:10.1017/S1751731113001687.

Rosenberger, G. Exame clínico dos bovinos. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. p.349-353.

Russel, A.J.F., and I.A. Wright. 1983. The use of blood metabolites in the determination of energy status in beef cows. **Anim. Prod.** doi:10.1017/S000335610000194X.

Sauvant, D., and P. Nozière. 2016. Quantification of the main digestive processes in ruminants: The equations involved in the renewed energy and protein feed evaluation systems. **Animal**. doi:10.1017/S1751731115002670.

Silva, F.A.S., S.C.V. Filho, E. Detmann, S.A. Santos, L.A. Godoi, B.C. Silva, M.V.C. Pacheco, H.M. Alhadas, and P.P. Rotta. 2017. Effect of different forage types and concentrate levels on energy conversion, enteric methane production, and animal performance of Holstein × Zebu heifers. **Anim. Prod. Sci.** 57:2042–2050. doi:10.1071/AN16093.

Souza, M.C., A.S. Oliveira, C. V. Araújo, A.F. Brito, R.M.A. Teixeira, E.H.B.K. Moares, and D.C. Moura. 2014. Short communication: Prediction of intake in dairy cows under tropical conditions. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2013-7652.

Valadares Filho, S. de C., L.F.C. e Silva, M.P. Gionbelli, P.P. Rotta, M.I. Marcondes, M.L. Chizzotti, and L.F. Prados. 2016. Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - **BR-CORTE**.

VandeHaar, M.J., L.E. Armentano, K. Weigel, D.M. Spurlock, R.J. Tempelman, and R. Veerkamp. 2016. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. **J. Dairy Sci.** 99:4941–4954. doi:10.3168/jds.2015-10352.

VandeHaar, M.J., and R.J. Tempelman. 2017. Feeding and breeding to improve feed efficiency and sustainability.

Xi YM, Yang Z, Wu F, D. Q. Zhao, Han ZY and Wang GL 2016. Biological mechanisms related to differences in residual feed intake in dairy cows. **Animal Science**. doi:10.1017/S1751731116000343

4 CAPÍTULO III – EXIGÊNCIAS DE ENERGIA LÍQUIDA PARA MANTENÇA EM NOVILHAS GIR, DETERMINADAS PELA METODOLOGIA DE CALORIMETRIA RESPIROMÉTRICA

RESUMO

Objetivou-se com este estudo estimar as exigências nutricionais de energia metabolizável (EM_m) e líquida (EL_m) para manutenção em novilhas Gir determinadas pela metodologia de calorimetria respirométrica. Trinta e sete novilhas Gir de 8,5 meses de idade e peso vivo inicial de $181,1 \pm 8,2$ kg, foram alojadas em sistema *tie stall* e receberam dieta total (75% silagem de milho e 25% concentrado) em consumo (*ad libitum* e restrito a 1,2% do peso vivo/dia) e avaliadas num período de 72 h em jejum alimentar. Foram realizados ensaios de metabolismo para determinação do consumo de energia metabolizável da dieta e das perdas energéticas fecais, urinárias, emissão de metano entérico e produção de calor. Câmaras respirométricas de circuito aberto foram utilizadas para estimar a produção de calor dos animais por calorimetria indireta e para mensuração contínua do consumo de oxigênio (O_2), da produção de dióxido de carbono (CO_2) e de emissão de metano entérico (EME). A EL_m foi calculada como sendo regressão não linear da produção de calor (PC) em função do consumo de energia metabolizável (CEM). A exigência de EL_m para as novilhas Gir foi de $90,3 \text{ kcal/kg PV}^{0,75}$, a exigência de energia metabolizável para manutenção (EM_m) foi de $108,2 \text{ kcal/kg PV}^{0,75}$. A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (K_m) foi de 0,83. A metodologia de calorimetria respirométrica mostrou ser eficaz para determinar as exigências nutricionais de energia para manutenção em novilhas Gir, em condições tropicais.

Palavras-chave: produção de calor, jejum, calorimetria indireta, metabolismo energético.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the nutritional requirements of metabolizable energy (ME_m) and net (NE_m) for maintenance in Gyr heifers, determined by respirometric calorimetry method. Thirty-seven heifers, 8.5-month-old Gyr heifers with 181.1 ± 8.2 kg, were housed in tie stall system and received a total diet (75% corn silage and 25% concentrate) in intake (*ad libitum* and restricted 1.2% BW/day) and evaluated for 72 h on fasting diet. Metabolism tests were made to determine the metabolizable energy consumption from the diet, the fecal and urinary

energy losses, enteric methane emission and heat production. Digestibility and metabolism tests were carried out to determine the fecal, urinary for methane emission energy losses and intake the diet metabolizable energy. Open-circuit respirometric chambers (RC) were used to estimate the animal heat production by indirect calorimetry and continuous measurement of oxygen consumption (O_2), carbon dioxide production (CO_2) and enteric methane emission (EME). The NEm was calculated like a non-linear regression of heat production (HP) as a metabolizable energy consumption function (MEI). The Gyr heifers NE_m requirements were $90.3 \text{ kcal/kg BW}^{0.75}$ and maintenance metabolizable energy requirements (ME_m) were $108.2 \text{ kcal/kg BW}^{0.75}$. The efficiency of metabolizable energy use for maintenance (K_m) was 0.83. The respirometric calorimetry methodology proved to be effective in determining the maintenance nutritional energy requirements in Gyr heifers under tropical conditions.

Key words: heat production, fasting, indirect calorimetry, energy metabolism

4.1. INTRODUÇÃO

A exigência de nutrientes é o sistema mais usado para formular dietas para gado leiteiro. Conhecer não só os nutrientes demandados, como também a concentração ou a quantidade dos mesmos na dieta que determinada categoria animal exige para obter desempenho desejado, juntamente com o conhecimento do valor

nutricional dos alimentos disponíveis, compõem a base que permite formular dietas, e planejar e implementar o manejo nutricional do rebanho de forma eficiente, técnica e econômica.

O Brasil, que ocupa o quinto lugar na produção de leite mundial (USDA, 2019) ainda formula dietas predominantemente com base nas necessidades nutricionais de grupamentos raciais de países com clima temperado (NRC, 2001; CSIRO, 2007; INRA, 2007). Esses modelos podem não ter a exatidão e a precisão para prever o consumo de matéria seca em condições tropicais devido às diferenças entre os sistemas de produção de gado leiteiro brasileiro e americano, ou seja, principalmente condições ambientais, genética e a composição nutricional das forragens (BR-CORTE; Oliveira e Ferreira, 2016). Todos estes sistemas, são baseados em estudos envolvendo o metabolismo energético em câmaras respirométricas ou em estudos de abate comparativo.

Os zebus e seus cruzamentos contemplam 70 a 80% dos rebanhos leiteiros brasileiros (Carvalho et al., 2019). A raça Gir (*Bos indicus*) é importante devido à sua tolerância ao calor e aos parasitas, sua rusticidade, resistência a endo e ectoparasitas, alta fertilidade e adaptabilidade ao ambiente tropical (Pereira et al., 2013; Ruas et al., 2014; Santana et al., 2014). Estudos anteriores sugeriram que as necessidades energéticas para animais *Bos taurus indicus* apresentam 10% a menos de energia para manutenção em relação aos *Bos taurus taurus* (NRC, 2001).

Compreender os potenciais efeitos da nutrição e requerimentos energéticos em novilhas Gir, auxiliará nas predições da formulação de dietas precisas em condições tropicais, as quais são necessárias para melhorar a lucratividade e a sustentabilidade das fazendas leiteiras no Brasil. Com isso, objetivou-se avaliar as exigências

nutricionais de energia metabolizável (EM_m) e líquida (EL_m) para manutenção em novilhas Gir, pela metodologia de calorimetria respirométrica.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Embrapa Gado de Leite (número: 1201110717). O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil.

4.2.1 Animais, dieta e delineamento experimental

Trinta e sete novilhas da raça Gir Leiteiro foram utilizadas, com média 250 ± 21 d de idade e $173,0 \pm 25,1$ kg de peso vivo no início do estudo de metabolismo. Os animais distribuídos aleatoriamente, foram alojadas em sistema *tie stall*, recebiam a dieta experimental, composta por 75% de silagem de milho e 25% de concentrado (base MS, Tabela 1), fornecidos duas vezes ao dia, às 8 e 16h, com acesso livre à água.

Uma única dieta foi utilizada, diferindo apenas na quantidade fornecida em cada etapa experimental (*ad libitum*, restrito e jejum). Na etapa 1, todas as novilhas foram avaliadas no consumo *ad libitum*, recebiam dieta com base no NRC (2001) com estimativa de ganho de peso aos animais. Na etapa 2, a dieta foi formulada de acordo com o NRC (2001) para proporcionar ganhos pequenos de peso (0,100 kg/d); todos os animais foram restringidos ao mesmo nível de consumo de matéria seca (CMS a 1,2% do PV). Houve um período de adaptação à dieta restrita, com duração de 21 dias, com o objetivo a adequação do metabolismo dos animais ao novo plano alimentar, até que o consumo fosse estabilizado, de forma a manter os animais próximos ao equilíbrio de energia, ou seja, com mínimo ganho de peso.

Tabela 1. Composição nutricional da dieta experimental (%MS), com 75% de silagem de milho e 25% de concentrado¹.

Composição	² DTM
Matéria Seca (g/kg) ³	448
Matéria Orgânica (g/kg) ⁴	931
Proteína Bruta (g/kg) ⁵	141
Extrato Etéreo (g/kg) ⁶	42,6
Fibra Detergente Neutra (g/kg) ⁷	316
Carboidratos Não Fibrosos (g/kg) ⁸	438
Energia Bruta (kcal/kg) ⁹	4462

¹Composição do concentrado: 63% farelo de soja, 30% milho grão moído seco e 7% Mineral*.

*Mineral Fosbovi 40 (DSM®, São Paulo, Brasil): 260 g/kg cálcio; 174 g/kg fósforo; 24 g/kg enxofre; 100 mg/kg cobalto; 1250 mg/kg cobre; 1790 mg/kg ferro; 90 mg/kg iodo; 2000 mg/kg manganês; 10 mg/kg selênio; 5270 mg/kg zinco.

²Dieta total misturada

As quantidades da dieta, inicialmente fornecidas foram determinadas a partir do PV individual de cada animal, realizando ajustes das quantidades fornecidas de acordo com a evolução do PV. Quando foi detectada a estabilidade no consumo, bem como mínima variação do PV dos animais, pôde-se então dar início ao ensaio de digestibilidade aparente com alimentação restrita. As pesagens iniciais e finais de cada período de avaliação dos animais, (*ad libitum*, restrito e jejum), foram através de balança eletrônica (WD 1000 Intergado Ltda., Contagem, Minas Gerais, Brasil).

A próxima etapa realizada foi a passagem dos animais em jejum alimentar na câmara respirométrica, todos os animais passaram por um período de jejum alimentar, avaliando em câmaras respirométricas. Para esta mensuração, os animais eram colocados nas câmaras com 48h de jejum alimentar, sendo retirados no dia seguinte, totalizando aproximadamente 72h sem o consumo de alimento.

4.2.2 Consumo, digestibilidade aparente e balanço de nitrogênio

Para a determinação acurada das perdas energéticas e de nutrientes via fezes e urina, foram realizados os ensaios de digestibilidade antes da avaliação nas câmaras respirométricas. Durante o período experimental foram realizados dois ensaios de digestibilidade: estudo *ad libitum* aos 10 dias de período experimental e cerca de 46 dias do período experimental, foi realizada o ensaio de digestibilidade com a dieta em restrição alimentar (1,2% do PV).

A energia metabolizável (EM) das dietas (Mcal/kg) foi calculada pela relação entre o consumo de EM (Mcal/dia) e consumo de MS (kg/dia). Cada ensaio de digestibilidade teve duração de 5 dias de coleta total de fezes e a urina total foi coletada no primeiro dia de cada período experimental, para estimar a digestibilidade e o balanço de nitrogênio. Recipientes plásticos (50 L) devidamente tampados e identificados foram utilizados para a coleta individual das fezes. O material fecal produzido por cada animal foi pesado duas vezes ao dia (10h e 16h) e após a homogeneização do conteúdo dentro de cada recipiente de plástico, foram amostrados aproximadamente 500 g de fezes. Em cada ensaio experimental, alíquotas de silagem, concentrado e sobras foram coletadas diariamente durante 5 dias consecutivos e armazenadas a -20°C para posterior processamento e análises. Após o descongelamento, as amostras de ração, sobras e fezes foram secas em estufa de ventilação forçada (55°C) por 72 h e moídas em moinho Wiley de 1 mm (A. H. Thomas, Filadélfia, PA).

A urina total foi coletada no primeiro dia de cada ensaio de digestibilidade. Foi coletada uma amostra de urina 4 h após a alimentação dos animais (Valadares et al., 1999) e posteriormente com intervalo de 2 h até as 24 h de coleta spot de urina. Durante a coleta, alguns animais apresentavam micção espontânea, enquanto que para

outros foi necessária a estimulação na área vulvar (Rosenberger, 1993). Após a coleta de 24 h, as amostras foram homogeneizadas e duas amostras de 50 g cada foram coletadas e armazenadas a -20°C para análises de nitrogênio, energia bruta (EB) e creatinina. As amostras de urina foram analisadas quanto a EB (método calorimétrico) e a quantificação do teor de nitrogênio pelo método Kjeldahl. As concentrações de creatinina para determinação do volume urinário foram determinadas em laboratório especializado terceirizado utilizando-se analisador COBAS® INTEGRA 400 Plus, (Roche Diagnóstica Brasil Ltda., São Paulo, Brasil).

Amostras de silagem de milho, concentrado, sobras e fezes foram analisadas (AOAC, 1990) para conteúdo de MS (método 930.15), cinzas (método 924.05), proteína bruta (PB: método 984.13), extrato etéreo (EE: método 920.39) e FDN (Van Soest, 1991), adaptado para analisador de fibra ANKOM220 (Ankom Technology, Fairport, NY) usando bolsas de filtro F57 (ANKOM®), com adição de 500 µL/g MS de amilase termoestável sem sulfito de sódio e corrigido para cinzas e nitrogênio (Mertens, 1997). A concentração de carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculada por $CNF = 100 - (\%FDN + \%PB + \%EE + \%CZ)$ de acordo com Mertens (1997). A energia bruta (EB) foi determinada usando um calorímetro adiabático (IKA - C5000, IKA® Works, Staufen, Alemanha).

Para determinar o consumo de MS e de nutrientes, foi utilizada a seguinte equação: $CMS = (MS \text{ ofertado} - MS \text{ das sobras})$. Os valores de digestibilidade (g/kg) foram determinados em função do desaparecimento do nutriente, considerando a equação: $Digestibilidade \text{ do nutriente} = ((kg \text{ MS ingerida} \times \% \text{ nutrientes}) - (kg \text{ MS fezes} \times \% \text{ nutriente})) / (kg \text{ MS ingerida} \times \% \text{ nutriente}) \times 100$. O volume urinário foi estimado multiplicando-se o PV pela excreção diária de creatinina (mg/kg PV) e dividindo-se o produto pela concentração de creatinina (mg/L) na urina. Para obtenção

da excreção diária de creatinina por kg de PV, adotou-se a média de 28,72 mg/kg PV, obtida por Rennó (2008). O balanço de nitrogênio foi calculado de acordo com a equação: nitrogênio retido (g/d) = nitrogênio ingerido - (nitrogênio fecal + nitrogênio urinário).

4.2.3 Calorimetria indireta de circuito aberto

Após a realização do ensaio de digestibilidade total, iniciaram-se os procedimentos para determinação da produção de calor (PC) dos animais nas câmaras respirométricas (CR) de circuito aberto. Os procedimentos e especificação do sistema foram descritos por Machado et al. (2016). Condições de termoneutralidade foram mantidas no interior das câmaras durante as mensurações, correspondendo à temperatura média de $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65\pm 5\%$.

No primeiro período as novilhas passaram pelas CR recebendo a mesma dieta que foi fornecida no ensaio de digestibilidade *ad libitum*. Já no segundo período, passaram pelas CR após o ensaio de digestibilidade com a dieta em restrição (1,2% do PV). O CMS mensurado dentro da CR foi comparado com o CMS médio durante o ensaio de digestibilidade da respectiva novilha; se o consumo diminuísse em mais de 5%, a medição era repetida. Antes e após as mensurações nas câmaras, foram registrados os pesos dos animais, durante o período de avaliação.

A determinação da produção de calor (PC; Mcal/d) de cada animal foi determinada com base em medições de consumo de O_2 (L/d), emissões de CO_2 e CH_4 (L/d) e produção de nitrogênio na urina (g/d) aplicando a equação de Brouwer (1965): produção de calor (Kcal/dia) = $(3,866 \times \text{VO}_2) + (1,200 \times \text{VCO}_2) - (0,518 \times \text{VCH}_4) - (1,431 \times \text{N}_u)$. Com isso, pode-se obter a PC dos animais alimentados (*ad libitum*) e em nível de restrição alimentar.

A última etapa experimental aos 65 dias de experimento, foi a passagem dos animais em jejum alimentar nas CR, para a avaliação da produção de calor em jejum (PC_j). Para esta mensuração os animais foram colocados nas CR nas ultimas 48h de jejum alimentar, sendo retirados na manhã seguinte, permanecendo nestas por 24h, totalizando as 72h sem o consumo de alimento. Para que as leituras em jejum pudessem ser feitas diariamente, foi feito um escalonamento para que todos os dias houvesse animais disponíveis para este tipo de mensuração. O fornecimento de água para os animais em jejum foi ininterrupto.

Durante a realização do período de jejum, os animais foram pesados as (0, 24, 48 e 72h), iniciando-se no primeiro dia sem fornecimento do alimento. A calorimetria indireta parte do princípio de que a PC_j obtida durante o jejum absoluto, é o total que o animal utiliza para manutenção, (Ferrell e Oltjen, 2008; Marcondes et al., 2013). Ao término de cada mensuração na CR foram realizados os cálculos para produção de calor diária segundo a equação descrita acima, cujo valor obtido corresponde à produção de calor diária do animal em Kcal.

A energia bruta ingerida pelo animal foi determinada através da combustão completa da amostra da dieta oferecida e das sobras em bomba calorimétrica adiabática. A energia metabolizável (EM) da dieta foi determinada subtraindo-se as perdas energéticas das fezes, urina, metano da energia bruta (EB) consumida. Quantificou-se a energia perdida na forma de metano assumindo-se a perda de 9,45 kcal/l CH₄ produzido (Brower, 1965). As concentrações de energia digestível (ED) e metabolizável da dieta (Mcal/kg MS) foram obtidas pela razão entre o consumo de energia e o consumo de matéria seca (MS) durante o ensaio de metabolismo.

4.2.4 Cálculos e procedimentos estatístico

Para estimar as exigências de energia para manutenção, foi adotado o seguinte modelo (Lofgreen e Garret, 1968):

$$PC = \beta_0 \times e^{\beta_1 \times CEM}$$

onde PC é a produção de calor (Mcal/kg PV^{0,75}), CEM é o consumo e energia metabolizável (Mcal/kg PV^{0,75}), β_0 e β_1 são parâmetros do modelo. O modelo foi estimado por máxima verossimilhança e com efeito aleatório de animal no parâmetro β_0 , utilizando-se o pacote “nlme” do software R (versão 4.1.0). A energia líquida de manutenção (EL_m) foi calculada como sendo o intercepto do modelo (β_0). A exigência de energia metabolizável de manutenção (EM_m) foi obtida por método iterativo, como o ponto de igualdade entre a PC e o CEM. A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m) foi obtida pela relação entre EL_m/EM_m.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, estão apresentados os dados descritivos referente ao consumo de matéria seca, partição energética, produção de calor (PC), metabolismo de nitrogênio e emissão de metano entérico (EME) das novilhas Gir, em diferente oferta alimentar (*ad libitum*, restrito e jejum).

Tabela 2. Estatística descritiva dos dados (média, desvio padrão, mínimo e máximo), para as variáveis de consumo, partição energética, metabolismo de nitrogênio e emissão de metano entérico das novilhas Gir, em diferente oferta alimentar (*ad libitum*, restrito e jejum).

Variável	Média	D.P. ¹	Mínimo	Máximo	Média	D.P.	Mínimo	Máximo	Média	D.P.	Mínimo	Máximo
	<i>Ad libitum</i>				Restrito				Jejum			
<i>Consumo e Partição Energética</i>												
Consumo de matéria seca (kg/d)	3,83	0,92	2,16	5,31	2,62	0,51	1,76	3,53			NC ²	
Consumo energia bruta (Mcal/d)	17,0	4,00	9,67	23,4	11,9	2,24	7,16	15,8			NC	
Consumo energia digestível (Mcal/d)	12,1	2,73	7,04	16,8	8,82	1,66	5,29	11,7			NC	
Consumo energia metabolizável (Mcal/d)	11,2	2,53	6,38	15,6	8,22	1,55	4,80	10,9			NC	
Produção de calor (kcal/PV ^{0,75})	134	21,7	94,3	213	120	17,3	88,2	145			NC	
Produção calor em jejum (kcal/PV ^{0,75})		NC				NC			90,3	11,8	70,9	112
Incremento calórico		NC				NC			30,3	6,01	21,3	38,20
<i>Metabolismo do Nitrogênio</i>												
Nitrogênio ingerido (g/d)	86,4	18,0	50,9	114	62,1	11,2	40,7	84,4			NC	
Nitrogênio urinário (g/d)	28,8	16,5	6,20	76,4	16,4	8,66	5,95	34,7			NC	
Nitrogênio fecal (g/d)	25,0	7,15	13,0	41,6	15,7	3,72	8,91	23,7			NC	
Nitrogênio retido (g/d)	32,6	18,2	3,17	71,6	30,0	9,20	8,65	47,4			NC	
<i>Metano</i>												
Emissão de metano entérico (EME, g/d)	48,9	16,4	18,9	98,2	43,5	12,8	24,9	72,6	10,7	3,59	4,35	17,6
Rendimento EME (g/kg/CMS)	13,0	3,65	4,49	21,8	16,7	4,02	8,60	25,5			NC	
Intensidade EME (g/kg/GMD)	185	16,4	117	228	94,9	12,3	82,9	149			NC	

¹Desvio padrão

²Não calculável

4.3.1 Exigências de energia para manutenção

Na Figura 1, estão demonstradas as equações de regressão não linear, obtidas pelo logaritmo da produção de calor (PC) em função do CEM para novilhas Gir. Os dados encontrados no presente trabalho, para exigência de energia líquida (EL_m) e energia metabolizável (EM_m) para manutenção de novilhas Gir, foram determinados pela técnica de respirometria calorimétrica.

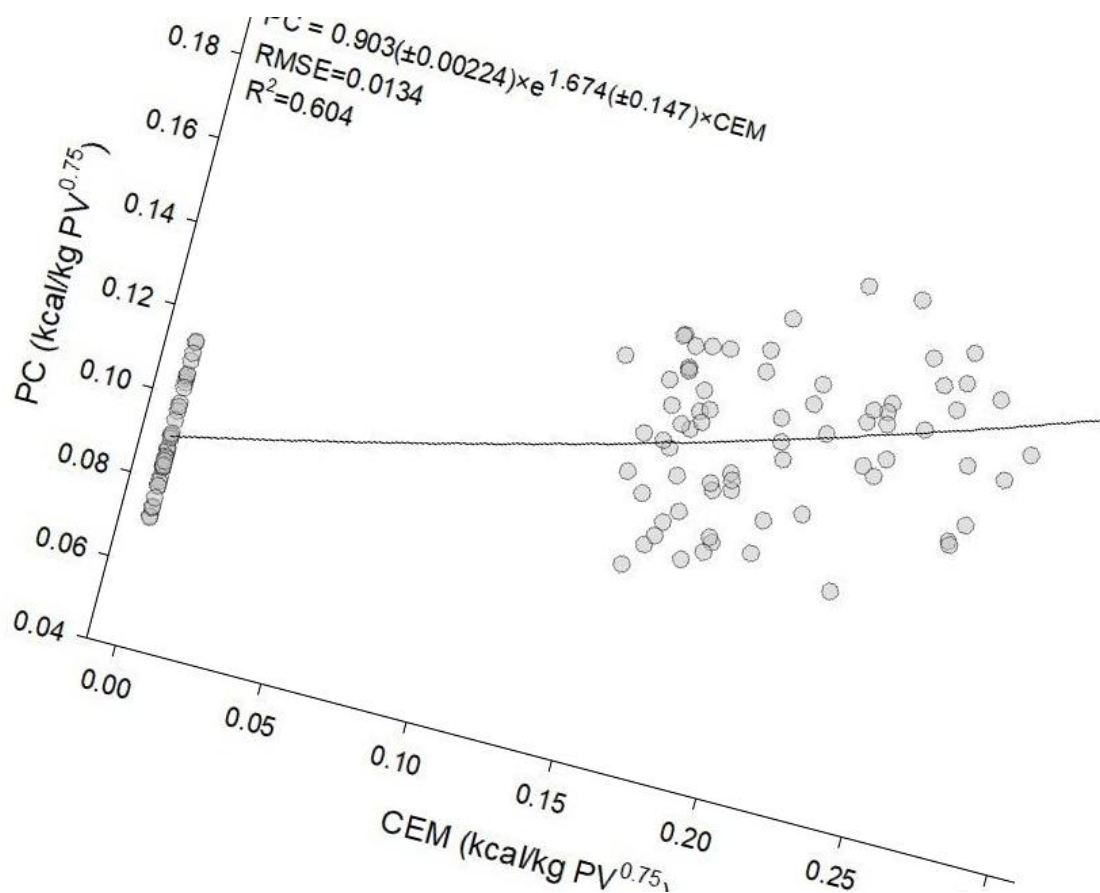


Figura 1. Relação entre a produção de calor (PC, kcal/kg PV^{0.75}/dia) e o consumo de energia metabolizável (CEM, kcal/kg PV^{0.75}/dia) em novilhas Gir.

A exigência de EL_m para as novilhas Gir foi de 90,3 kcal/kg PV^{0.75}, a exigência de EM_m foi de 108,2 kcal/kg PV^{0.75} e a eficiência de utilização energia metabolizável para manutenção foi de $K_m = 0,83$. A exigência de EL_m é definida como a quantidade de

energia necessária para manter o metabolismo basal, além de atividades físicas mínimas como a ida ao cocho e ao bebedouro em um animal confinado. Existem alguns fatores que podem afetar a taxa metabólica basal, alterando as exigências de manutenção dos animais; ingestão, idade, condição sexual, dieta, nível nutricional, variação individual e fatores ambientais (NRC, 1984; Ferrell e Jenkins, 1998; Cannas et al., 2004). A EM_m é sempre superior a EL_m , pois o processo de ingerir, digerir e metabolizar o alimento requer energia e esta acaba sendo dissipada pelo animal como calor.

A exigência de energia para as funções de manutenção representa aproximadamente 70% do total de EM requerida por vacas de corte adultas em produção e mais de 90% da energia total requerida por touros adultos (Ferrell e Jenkins, 1984). A fração de EM consumida utilizada para manutenção raramente é menor que 40% (NRC, 2000).

O valor da EM_m 108,2 kcal/kg $PC^{0,75}$ para novilhas Gir estão dentro dos limites e bem próximos da média do NRC (2016), que adota a EM_m de 106,1 kcal/kg $PC^{0,75}$ para animais zebuínos, exceto para Nelore. A EM_m tem variação observada de 108,8 a 147,8 kcal/kg $PCVZ^{0,75}$ na literatura nacional (Chizzotti et al., 2008; Marcondes et al., 2010). Por exemplo, Moreira (2016) estimou a EM_m para novilhas Gir em crescimento resultando em 116,0 kcal/kg $PC^{0,75}$. Já Lage (2011) para as novilhas Gir estimou a EM_m em 120,05 kcal/kg de $PC^{0,75}$. Oss et al. (2017) utilizando touros mestiços Holandês × Gir observaram que a exigência de EM_m foi de 120 kcal/kg $PC^{0,75}$ /d. Nos estudos de Rotta et al. (2013), avaliando touros mestiços Holandês × Zebu, constatou-se que a EM_m foi de 114,2 kcal/d e Castro et al. (2020) avaliando novilhas mestiças Holandês x Gir, a EM_m foi de 112,19 kcal/ $PCVZ^{0,75}$.

A EL_m associa-se a energia utilizada para realização das funções basais do animal. Nosso estudo apresentou uma exigência de EL_m de 90,3 kcal/kg $PV^{0,75}/d$, próximos aos valores sugeridos pelo NRC (2001) de 86 kcal/ $PC^{0,75}$ para animais em crescimento e pelo AFRC (1993) de 83,5 kcal/ $PC^{0,75}$, para fêmeas e de acordo com os parâmetros de exigências para bovinos leiteiros, observados por alguns estudos nacionais com a técnica de calorimetria indireta. Moreira (2016) estimou a EL_m para novilhas Gir em crescimento em 79,9 kcal/kg $PC^{0,75}$. Oliveira Filho (2017) estimou a EL_m para novilhas Gir em 63,55 kcal/kg $PC^{0,75}$. No estudo de Lage (2011), com novilhas Gir de peso corporal médio de 450 kg, o valor encontrado de EL_m foi de 76,8 kcal/ $PC^{0,75}$. Silva (2011) realizou o primeiro trabalho nacional utilizando câmara respirométrica para a determinação das exigências nutricionais de fêmeas bovinas em crescimento. O autor comparou diferentes raças, sendo trabalho realizado com animais da raça Gir leiteiro, Holandês e F1 Holandês x Gir. Os valores de EL_m encontrados foram 85,2; 96,4 e 102,3 Kcal/ $PV^{0,75}$, respectivamente, para novilhas da raça Gir, Holandesa e F1 Holandês x Gir.

Para gado de corte, Silva et al. (2002) estimaram a exigência de EL_m de animais zebuínos em 71,3 kcal/ $PCVZ^{0,75}$. Já Marcondes et al. (2010), para fêmeas de corte, relataram valor de EL_m de 78 kcal/ $PCVZ^{0,75}$ e Marcondes et al. (2017), de 75 kcal/ $PCVZ^{0,75}/d$ para zebuínos puros, cruzados de corte e cruzados de leite. No estudo de Oss et al. (2016), avaliando touros mestiços Holandês x Gir, a EL_m foi 74,8 kcal/Kg $PC^{0,75}/d$.

Há evidências substanciais de que bovinos de corte *Bos taurus indicus* têm menor EM_m do que *Bos taurus taurus*, devido ao menor tamanho, menor proporção de vísceras, menor taxa de renovação de proteína corporal, menor proporção de gordura interna e menor perda de calor corporal em clima tropical (Marcondes et al., 2010).

Vacas leiteiras mestiças *Bos taurus taurus* × *Bos taurus indicus* apresentam menor EM_m, porém, apresentam também menor eficiência energética líquida para produção de leite do que vacas leiteiras *Bos taurus taurus* (Oliveira, 2015). A redução da energia de manutenção em *Bos taurus indicus* se deve ao menor potencial genético de produção, característica desenvolvida para permitir maior adaptação às condições ambientais menos favoráveis (CSIRO, 2007; NRC, 1996).

Sabe-se que existem diferenças tanto metodológicas quanto na aplicação do conceito de energia líquida entre as técnicas. Segundo Williams e Jenkins, (2003) maiores diferenças entre as técnicas são observadas quando se comparam as estimativas de exigência para manutenção obtidas através da determinação direta da PC_j àquelas obtidas com animais alimentados em estudos de respirometria calorimétrica (obtidas por regressão) ou àquelas obtidas por metodologias indiretas (abates comparativos).

No Brasil, a grande maioria dos estudos de exigências nutricionais é baseada na técnica de abates comparativos. A aplicabilidade dos valores estimados em nosso estudo, utilizando câmaras respirométricas, envolvendo o metabolismo energético de fêmeas de origem leiteira da raça Gir, criadas em condições tropicais, evidencia-se a necessidade da realização de mais trabalhos para a ampliação do banco de dados.

A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção $K_m = 0,83$, encontrada em nosso estudo, está dentro dos limites encontrados na literatura. Baldwin e Sainz (1995) citam que, dependendo do valor energético do alimento e/ou da dieta, os valores para K_m podem variar de 0,65 a 0,85. Os valores encontrados por Castro et al. (2020), avaliando novilhas leiteiras mestiças Holandês × Gir, foi de um K_m de 0,64. Filho (2017) encontrou o valor médio de K_m 0,63, Fox et al. (2004) recomendaram valor de 0,64, e o NRC (2001) adota um K_m de 0,65.

Ainda sobre estimativas de K_m , Rotta et al. (2013), avaliando mestiços machos Holandês × Gir, estimaram um K_m de 0,66. Ferreira (2014) apresentou um K_m de 0,60, valor próximo ao relatado por Oss et al. (2017) de 0,62, para machos 7/8 Holandês × 1/8 Gir em crescimento, em condições tropicais. Já Valadares Filho et al. (2006), avaliando animais da raça Nelore, propuseram os seguintes valores para K_m : 0,66 para machos inteiros, 0,64 para machos castrados e 0,64 para fêmeas. Ao avaliar nossos resultados, ressaltamos que os animais tiveram uma ingestão de menor aporte energético, na restrição alimentar. Assume-se então que a energia metabolizável absorvida pelas novilhas Gir foi utilizada com superior eficiência para a reposição das perdas diárias do organismo.

A PC do animal no estado de jejum (PCj) requer a energia com o atendimento do metabolismo basal, como a manutenção da homeotermia, circulação, respiração, manutenção de sistemas enzimáticos e síntese de tecidos, além do atendimento de atividades voluntárias, como ruminar e caminhar, sem a PC oriunda do incremento calórico (Garrett e Johnson, 1983; Valadares Filho et al., 2010). Assim, os requerimentos de energia do metabolismo basal (EMB) correspondem à produção de calor de um animal em jejum (Birkett e Lange, 2001). Em nosso estudo, como pode ser observado na Tabela 1, a PCj foi de 90,3 kcal/kg PV^{0,75}.

O efeito do plano nutricional sobre a PCj foi relatado em alguns estudos (Ferrell e Jenkins, 1984; Birkelo et al., 1991). A PCj varia com o nível de consumo anterior à mensuração; por isso recomenda-se o período de adaptação da restrição alimentar antes da avaliação, para determinar a EL_m .

Um menor incremento calórico (IC) da alimentação é esperado em animais que têm ingestão reduzida e desempenho semelhante (Garrett e Johnson, 1983; Herd e Arthur, 2009). O IC responsável pelos processos de ingestão e digestão de alimentos

em nosso estudo foi de 30,3. O IC pode representar de 20 a 30% do CEB para animais em manutenção, 30% para animais em lactação e até 42% para animais em engorda (Van Soest, 1994). Lage (2011) obteve um IC com valor mais baixo que o nosso estudo; avaliando novilhas Gir em manutenção o IC foi de 21,4%.

Os atuais resultados de exigências em energia tiveram similaridade com a literatura disponível e muito provavelmente serão utilizados para a inclusão no banco de dados nacional de exigências de gado de leite mestiços e zebuínos, visando no futuro o estabelecimento de normas e padrões nacionais de alimentação de bovinos leiteiros, do grupo genético mais representativo do rebanho nacional.

O estudo de exigências nutricionais no Brasil carece de dados em relação a fêmeas bovinas com aptidão leiteira, sendo necessárias mais pesquisas a respeito. A metodologia de calorimetria respirométrica mostrou ser eficaz para determinar as exigências nutricionais de energia nas novilhas Gir.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exigência de energia líquida para manutenção para novilhas Gir é de 90,3 Kcal/kg PV^{0,75} e a de energia metabolizável de manutenção de 108,2 Kcal/kg PV^{0,75}. A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção foi de 0,83. A metodologia de calorimetria respirométrica mostrou-se eficaz para determinar as exigências nutricionais de energia de animais zebuínos em condições tropicais.

4.4.1 Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Leite, Minas Gerais, Brasil), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasília, Brasil), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Belo Horizonte, Brasil), Instituto Nacional de

Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT – CA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Paraná (UFPR, Curitiba, Brasil), por apoiarem e financiarem esse projeto.

REFERÊNCIAS

- AFRC, A. and F.R.C. (Great B.T.C. on R. to N., and B.R. Cottrill. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants: An Advisory Manual.
- Carvalho, P.H., A.L. Da Costa Cruz Borges, R. Reis E Silva, H.F. Lage, P.A.D. Vivenza, J.R.M. Ruas, E.J.F. Filho, R.L.A. Palhano, L.C. Gonçalves, I. Borges, E. De Oliveira Simões Saliba, D.G. Jayme, and A.Ú. De Carvalho. 2019. Energy metabolism and partition of lactating Zebu and crossbred Zebu cows in different planes of nutrition. **PLoS One**. doi:10.1371/journal.pone.0202088.
- Baldwin, R.L., and R.D. Sainz. 1995. Energy partitioning and modeling in animal nutrition. **Annu. Rev. Nutr.**.. doi:10.1146/annurev.nu.15.070195.001203.
- Birkelo, C.P., D.E. Johnson, and H.P. Phetteplace. 1991. Maintenance requirements of beef cattle as affected by season on different planes of nutrition.. **J. Anim. Sci.**.. doi:10.2527/1991.6931214x.
- Borges, A.L.C.C. Exigências nutricionais de proteína e energia de novilhas das raças Guzerá e Holandesa. 2000. 90p. Tese (**Doutorado em Ciência Animal**) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Birkett, S., and K. de Lange. 2001. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. **Br. J. Nutr.**.. doi:10.1079/bjn2001441.
- Cannas, A., L.O. Tedeschi, D.G. Fox, A.N. Pell, and P.J. Van Soest. 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. **J. Anim. Sci.**.. doi:10.2527/2004.821149x.
- Castro, M.M.D., R.L. Albino, J.P.P. Rodrigues, A.L.L. Sguizzato, M.M.F. Santos, P.P. Rotta, J.S. Caton, L.E.F.D. Moraes, F.F. Silva, and M.I. Marcondes. 2020. Energy and protein requirements of Holstein × Gyr crossbred heifers. **Animal**. doi:10.1017/S1751731120000622.
- Chizzotti, M.L., L.O. Tedeschi, and S.C. Valadares Filho. 2008. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. **J. Anim. Sci.**.. doi:10.2527/jas.2007-0309.

Ferrell, C.L., and T.G. Jenkins. 1984. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types.. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/jas1984.581234x.

Ferrell, C.L., and T.G. Jenkins. 1998. Body Composition and Energy Utilization by Steers of Diverse Genotypes Fed a High-Concentrate Diet during the Finishing Period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford, and Tuli Sires. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/1998.762647x.

Ferreira, A.L. Exigências nutricionais de energia de bovinos machos F1 Holandês × Gir determinadas pelas metodologias de abates comparativos e respirometria 19 calorimétrica. 2014. 94p. Tese (**Doutorado em Zootecnia**) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Fox, D.G., L.O. Tedeschi, T.P. Tylutki, J.B. Russell, M.E. Van Amburgh, L.E. Chase, A.N. Pell, and T.R. Overton. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Anim. Feed Sci. Technol.** doi:10.1016/j.anifeedsci.2003.10.006.

Garrett, W., and D. Johnson. 1983. Nutritional Energetics of Ruminants. **J. Anim. Sci.** doi:10.2527/animalsci1983.57Supplement_2478x.

Herd, R.M., and P.F. Arthur. 2009b. Physiological basis for residual feed intake.. **J. Anim. Sci.** 87. doi:10.2527/jas.2008-1345

Institut National de la Recherche Agronomique – INRA. **Alimentation des Ruminants**. INRA Publ., Versailles, 1978.

Guinguina, A., T. Yan, A.R. Bayat, P. Lund, and P. Huhtanen. 2020a. The effects of energy metabolism variables on feed efficiency in respiration chamber studies with lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2020-18259.

Guinguina, A., T. Yan, P. Lund, A.R. Bayat, A.L.F. Hellwing, and P. Huhtanen. 2020b. Between-cow variation in the components of feed efficiency. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2020-18257.

Hassanat, F., R. Gervais, and C. Benchaar. 2017. Methane production, ruminal fermentation characteristics, nutrient digestibility, nitrogen excretion, and milk production of dairy cows fed conventional or brown midrib corn silage. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2016-11862.

Hegarty, R.S., J.P. Goopy, R.M. Herd, and B. McCorkell. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **J. Anim. Sci.** 85:1479–1486.

doi:10.2527/jas.2006-236.

Lage, H. F. 2011. Partição da energia e exigência de energia líquida para manutenção de 1417 novilhas Gir e F1 Holandês x Gir. 78 f. Dissertação (**Mestrado em Zootecnia**) - 1418 Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Machado, F.S., T.R. Tomich, A.L. Ferreira, L.F.L. Cavalcanti, M.M. Campos, C.A.V. Paiva, M.N. Ribas, and L.G.R. Pereira. 2016. Technical note: A facility for respiration measurements in cattle. *J. Dairy Sci.* 99:4899–4906. doi:10.3168/jds.2015-10298.

Marcondes, M.I., M.L. Chizzotti, S.D.C.V. Filho, M.P. Gionbelli, P.V.R. Paulino, and M.F. Paulino. 2017. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA PARA BOVINOS DE CORTE. **BR corte**.

Marcondes, M.I., M.P. Gionbelli, S. de C. Valadares Filho, M.L. Chizzotti, and M.F. Paulino. 2010. Protein requirements of zebu beef cattle.. **Nutr. Requis. Zebu beef cattle**.

Moreira, T. S. Exigências de energia, partição energética e emissão de metano por novilhas leiteiras Holandês, Gir e F1 Holandês-Gir em crescimento. 2016. 68p. (**Tese Doutorado em Ciências**). Pirassununga, São Paulo.

National Research Council, N. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle.

NRC. 1984. Enviromental Qualification of Certain Electric Equipment Important to Safety for Nuclear Power Plants. Regul. Guid. 1.89.

NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. *Nutr. Requis. Beef Cattle* 249. doi:10.17226/9791.

Nutrient Requirements of Beef Cattle, 8th Revised Edition. 2015.

Oliveira, A.S. 2015. Meta-analysis of feeding trials to estimate energy requirements of dairy cows under tropical condition. **Anim. Feed Sci. Technol.** doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.10.006.

Oliveira, A.S., and V.B. Ferreira. 2016. Prediction of intake in growing dairy heifers under tropical conditions. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2015-9638.

Oliveira, B.R., M.N. Ribas, F.S. Machado, J.A.M. Lima, L.F.L. Cavalcanti, M.L. Chizzotti, and S.G. Coelho. 2018. Validation of a system for monitoring individual feeding and

drinking behaviour and intake in young cattle. **Animal** 12:634–639. doi:10.1017/S1751731117002002.

Oliveira Filho, C.A.A. Exigências nutricionais, partição de energia e emissão de metano entérico por novilhas Holandês, Gir e Girolando. 2017. 108p. Tese (**Doutorado em Zootecnia**) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, Bahia.

Oss, D.B., F.S. Machado, T.R. Tomich, L.G.R. Pereira, M.M. Campos, M.M.D. Castro, T.E. da Silva, and M.I. Marcondes. 2017. Energy and protein requirements of crossbred (Holstein × Gyr) growing bulls. **J. Dairy Sci.** doi:10.3168/jds.2016-11414.

Pereira, K.P., A.S.C. Vêras, M.D.A. Ferreira, Â.M.V. Batista, K.A. Marques, and A.C.A. Fotius. 2008. Balanço de nitrogênio e perdas endógenas em bovinos e bubalinos alimentados com níveis crescentes de concentrado. **Acta Sci. Anim. Sci.** doi:10.4025/actascianimsci.v29i4.1012.

Rotta, P.P., S.C.V. Filho, E. Detmann, L.F. Costa, F.A.C. Villadiego, E.M.G. Burgos, and F.A.S. Silva. 2013. Requerimentos nutricionais de energia e proteína em bovinos Holandês × Zebu não castrados terminados em confinamento. **Semin. Agrar.** doi:10.5433/1679-0359.2013v34n5p2523.

Rosenberger, G. Exame clínico dos bovinos. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. p.349-353.

Ruas, J.R.M., E.A. da Silva, D.S. Queiroz, M.E.G. Pereira, J.A.G. Soares, M.D. Santos, V.R. Rocha, and M.D. da Costa. 2014. Características produtivas da lactação de quatro grupos genéticos F1 Holandês x Zebu. **Rev. Bras. Ciência Veterinária.** doi:10.4322/rbcv.2014.014.

Santana, M.L., R.J. Pereira, A.B. Bignardi, L. El Faro, H. Tonhati, and L.G. Albuquerque. 2014. History, structure, and genetic diversity of Brazilian Gir cattle. **Livest. Sci.** doi:10.1016/j.livsci.2014.02.007.

Silva, F.A.S., S.C.V. Filho, E. Detmann, S.A. Santos, L.A. Godoi, B.C. Silva, M.V.C. Pacheco, H.M. Alhadas, and P.P. Rotta. 2017. Effect of different forage types and concentrate levels on energy conversion, enteric methane production, and animal performance of Holstein × Zebu heifers. **Anim. Prod. Sci.** 57:2042–2050. doi:10.1071/AN16093.

Da Silva, F.F., S.D.C. Valadares Filho, L.C.V. Ítavo, C.M. Veloso, R.F.D. Valadares, P.R. Cecon, P.V.R. Paulino, and E.H.B.K. De Moraes. 2002. Exigências líquidas e dietéticas de energia, proteína e macroelementos minerais de bovinos de corte no Brasil. **Rev. Bras. Zootec.** doi:10.1590/s1516-35982002000300029.

SILVA, F.F. Desempenho, Característica de Carcaça, Composição Corporal e Exigências Nutricionais (Energia, Proteína, Aminoácidos e Macrominerais) de Novilhos Nelore, nas Fases de Recria e Engorda, Recebendo Diferentes Níveis de concentrado e Proteína. Viçosa, Mg: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 211p. Tese (**Doutorado em Zootecnia**) – Universidade federal de Viçosa, Viçosa.

Williams, C.B., Jenkins, T.B. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. **Journal Animal Science**, v. 81, p. 1371 – 1381, 2003.

Williams, Y.J., J.E. Pryce, C. Grainger, W.J. Wales, N. Linden, M. Porker, and B.J. Hayes. 2011. Variation in residual feed intake in Holstein-Friesian dairy heifers in southern Australia. **J. Dairy Sci.** 94:4715–4725. doi:10.3168/jds.2010-4015.

5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os níveis de oferta da dieta *ad libitum* e restrito, parecer não ser um fator decisório na investigação dos grupos de alta e baixa EA (CAR e CGR). O uso dos índices de CAR e

CGR para classificar novilhas Gir resultou em grupos com características diferentes, o que deve ser considerado em novas pesquisas. O consumo, digestibilidade e partição de energia, foram os fatores que mais impactaram as diferenças de CAR entre fêmeas zebuínas na fase de recria. Ao agrupar os animais baseado no índice CGR, não houve divergência entre os grupos nas avaliações do metabolismo, dado que o GMD foi o mesmo para os animais. O CGR não apresentou vantagens de utilização em relação ao CAR, e por possuir poucos dados na literatura referente à sua utilização, recomenda-se pesquisas futuras envolvendo eficiência alimentar, no intuito de explicar melhor a relação dessas variáveis com as bases biológicas que conduzem à diferença entre os grupos.

As exigências de energia para manutenção em novilhas Gir, contribuíram para a base de dados nacionais, para a futura elaboração de um sistema de exigências de nutrientes para genótipos leiteiros utilizados em condições tropicais.

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Influência de características genéticas, produtivas, metabólicas, comportamentais, de saúde e econômicas na eficiência alimentar em novilhas Gir na fase de recria em confinamento e pastejo", protocolada sob o CEUA nº 1201110717, sob a responsabilidade de **Mariana Magalhães Campos e equipe; Fernanda Samarini Machado; Hilton do Carmo Diniz Neto; Luiz Gustavo Bruno Siqueira; Luiz Gustavo Ribeiro Pereira; Mayara Campos Lombardi; Mirton José de Frola Morenz; Thierry Ribeiro Tomich; Danieli Cabral da Silva; Wanessa Araújo Carvalho** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite (CEUA/EGL) na reunião de 22/08/2017.

We certify that the proposal "Influência de características genéticas, produtivas, metabólicas, comportamentais, de saúde e econômicas na eficiência alimentar em novilhas Gir na fase de recria em confinamento e pastejo", utilizing 48 Bovines (48 females), protocol number CEUA 1201110717, under the responsibility of **Mariana Magalhães Campos and team; Fernanda Samarini Machado; Hilton do Carmo Diniz Neto; Luiz Gustavo Bruno Siqueira; Luiz Gustavo Ribeiro Pereira; Mayara Campos Lombardi; Mirton José de Frola Morenz; Thierry Ribeiro Tomich; Danieli Cabral da Silva; Wanessa Araújo Carvalho** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the Embrapa Gado de Leite Corporate (CEUA/EGL) in the meeting of 08/22/2017.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa**

Vigência da Proposta: de **09/2017** a **09/2019**

Área: **Núcleo Produção E Bem Estar Animal**

Origem: **Campo Experimental José Henrique Bruschi**

Espécie: **Bovinos**

sexo: **Fêmeas**

idade: **3 a 30 meses**

N: **48**

Linhagem: **Gir**

Peso: **90 a 450 kg**

Resumo: A identificação de animais mais eficientes no aproveitamento do alimento consumido é uma das alternativas para vencer os desafios como o aumento dos custos de produção, crescente percepção dos consumidores quanto à segurança dos alimentos, bem-estar animal e impactos ambientais da agropecuária. Como os gastos com alimentação representam o principal custo da atividade pecuária, diferenças entre os animais na conversão da dieta consumida em carne e leite são de grande relevância. Animais que utilizam os alimentos de forma mais eficiente necessitam consumir menos para atingir o mesmo nível de produção, e desta forma, são mais lucrativos e produzem mais alimento por unidade de área. Além disso, o aumento da eficiência alimentar proporciona menor desperdício e excreção de nutrientes, com implicações ambientais positivas. Desta maneira, o presente projeto objetiva determinar a influência de características genéticas, de produção, metabolismo, saúde e comportamento na eficiência alimentar em gado de leite e os impactos econômicos. Serão conduzidos experimentos para determinação da eficiência alimentar de fêmeas Gir nas fases de cria e recria, permitindo a geração de uma base de dados consistente a partir da mesma população de animais. Durante os ensaios de eficiência alimentar, serão mensurados parâmetros relacionados ao metabolismo (partição dos nutrientes ingeridos e eficiência bioenergética), à reprodução e ao comportamento, e então serão estudadas as associações destas características com a eficiência alimentar nos animais das diferentes categorias avaliadas. Os parâmetros comportamentais serão mensurados por meio do uso de tecnologias de precisão, dentre as quais cochos e bebedouros eletrônicos para avaliação da dinâmica de consumo e do comportamento alimentar, sensores de ruminação e de atividade. As técnicas de respirometria por máscara facial e termografia serão utilizadas em busca de ferramentas de mensuração indiretas que possuam alta associação com eficiência alimentar. Também será realizada análise do perfil transcricional em tecido hepático, permitindo a identificação de vias metabólicas específicas diferencialmente expressas em animais com fenótipos divergentes para eficiência alimentar, além da avaliação da relação entre o perfil da comunidade microbiana ruminal e a eficiência alimentar. Essas avaliações permitirão alcançar avanços conceituais e metodológicos na avaliação da eficiência alimentar para bovinos leiteiros e a identificação de ferramentas para mensuração indireta e menos laboriosa desta característica, a fim de viabilizar a ampliação da geração de fenótipos qualificados para eficiência alimentar. A estruturação do modelo conceitual de captação, armazenamento e análise de dados de experimentos permitirá o desenvolvimento de métricas de eficiência alimentar em gado de leite. Os resultados a serem gerados neste projeto contribuirão para o aumento da produtividade e economicidade dos sistemas de produção de leite no Brasil, consolidando o país como líder, não só na produção de alimentos, mas também na geração de tecnologias sustentáveis para produção animal nos trópicos. Local do experimento: Retiro da Genizinha no Setor de Recria de Precisão

Juiz de Fora, 22 de agosto de 2017



Dra. Glaucyana Gouvêa dos Santos
Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Embrapa Gado de Leite



Dra. Letícia Sayuri Suzuki
Vice-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Embrapa Gado de Leite

